



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**SPOLUPRÁCE TEPELNÉHO ČERPADLA A
FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY**

COOPERATION OF HEAT PUMP AND PHOTOVOLTAIC POWER PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Eva Gregorovičová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Eva Gregorovičová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Spolupráce tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na posouzení systému vytápění využívajícího spolupráci tepelného čerpadla a fotovoltaického systému. Nesoučasnost slunečního svitu a požadavku na dodávku tepelné energie objektu umožňuje krytí pouze části energetických potřeb tepelného čerpadla fotovoltaickou elektrárnou. Systém musí být nutně doplněn o prvky akumulace energie elektrické či tepelné. V rámci práce bude pro zvolený objekt navržen konkrétní systém vytápění využívající spojení TČ a PV. Navržený systém bude hodnocen z hlediska energetických toků a potřeby akumulace.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešeršním způsobem představit hlavní komponenty uvažovaného systému (tepelné čerpadlo, fotovoltaický systém, akumulátor elektřiny, akumulátor tepla).
2. Popis zvoleného objektu a návrh systému fotovoltaické elektrárny spolupracující s tepelným čerpadlem.
3. Provést bilanční zhodnocení provozu navrženého systému v jednotlivých měsících.
4. Uvést technicko–ekonomické zhodnocení systému.

Seznam doporučené literatury:

SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Praha: EkoWATT, 2009, 71 s. : il., mapy. ISBN 978-80-87333-02-0.

CIHELKA, Jaromír. Solární tepelná technika. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. : il. ISBN 80-900759-5-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce posuzuje systém vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem spolupracujícím s fotovoltaickou elektrárnou s akumulací tepla a elektřiny. V teoretické části jsou popsány hlavní komponenty systému – tepelné čerpadlo, fotovoltaický systém, akumulátor elektřiny a akumulátor tepla. V praktické části jsou vypočítány energetické požadavky objektu, a je popsán navržený systém včetně schématu. Na základě výpočtů a grafického znázornění je systém v jednotlivých měsících bilančně zhodnocen. Na závěr je ekonomicky porovnán s vytápěním elektrokotlem.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, fotovoltaický systém, baterie, akumulátor tepla

ABSTRACT

The bachelor's thesis assesses the heating system of a family house with a heat pump, which cooperates with photovoltaic power plant with storage heat and electricity. The theoretical part describes the main components of the system – heat pump, photovoltaic system, electricity accumulator and heat accumulator. The practical part calculates the energy requirements of the building and describes the proposed system, including the scheme. Based on the calculations and graphical representation, the system is evaluated in the balance sheet in individual months. Finally, it is economically compared with an electric boiler heating.

Key words

Heat pump, photovoltaic system, battery, heat accumulator

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GREGOROVÍČOVÁ, Eva. *Spolupráce tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124404>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Spolupráce tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Eva Gregorovičová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Dále děkuji firmě S-Power Energies, s.r.o. za poskytnutou technickou podporu.

OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Tepelné čerpadlo.....	12
1.1 Princip tepelného čerpadla.....	12
1.2 Pracovní cyklus tepelného čerpadla.....	13
1.3 Topný faktor	13
1.4 Komponenty tepelného čerpadla.....	15
1.4.1 Kompresor.....	15
1.4.2 Kondenzátor	17
1.4.3 Expanzní ventil.....	17
1.4.4 Výparník.....	18
1.4.5 Chladiva	18
1.5 Rozdělení tepelných čerpadel podle nízkopotenciálního zdroje.....	19
1.5.1 Vzduch-voda	19
1.5.2 Země-voda.....	19
1.5.3 Voda-voda	21
2 Fotovoltaický systém.....	22
2.1 Sluneční záření.....	22
2.2 Fotovoltaický jev	23
2.3 Komponenty fotovoltaické elektrárny	23
2.3.1 Fotovoltaický článek	23
2.3.2 Fotovoltaický panel	25
2.3.3 Střídač.....	26
2.3.4 Regulátor optimalizace spotřeby	26
2.3.5 Elektroměr.....	26
2.4 Recyklace fotovoltaických panelů	26
3 Akumulátor elektřiny.....	27
3.1 Elektrochemický článek.....	27
3.2 Elektrolyt	27
3.3 Lithium-iontové baterie	28
4 Akumulátor tepla	29
4.1 Akumulace citelného tepla.....	29
4.1.1 Teplo akumulované v otopné vodě	29
4.1.2 Teplo akumulované v teplé vodě	29
5 Energetické požadavky objektu.....	30
5.1 Součinitel prostupu tepla	31
5.2 Tepelná ztráta prostupem.....	32
5.3 Tepelná ztráta větráním	33
5.4 Celková tepelná ztráta objektu.....	33
5.5 Roční potřeba tepla pro vytápění	34

5.6	Roční potřeba tepla na ohřev teplé vody	35
5.7	Celková roční potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody	36
5.8	Roční potřeba elektrické energie	36
6	Návrh systému.....	37
6.1	Charakteristika systému	37
6.2	Popis instalace	37
6.3	Sestava systému.....	38
6.3.1	Panely	38
6.3.2	Hybridní třífázový střídač.....	39
6.3.3	Baterie.....	39
6.3.4	Tepelné čerpadlo.....	40
6.4	Schéma systému	41
7	Bilanční zhodnocení systému.....	42
7.1	Měsíční bilance tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny	42
7.1.1	Teplota otopné vody 55 °C.....	42
7.1.2	Teplota otopné vody 35 °C	47
8	Technicko-ekonomické zhodnocení systému	51
8.1	Pořizovací náklady	51
8.2	Ekonomické zhodnocení	52
8.2.1	Roční úspora	53
8.2.2	Návratnost.....	53
ZÁVĚR		55
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ		56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		61
SEZNAM OBRÁZKŮ		64
SEZNAM TABULEK.....		65
SEZNAM PŘÍLOH.....		66

ÚVOD

Důležitým pilířem dnešní civilizace je energetický průmysl a s ním spojená výroba elektrické energie, na které je lidstvo závislé. Spalování fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn) je zátěží pro životní prostředí a vzniklé emise skleníkových plynů se podílejí na globálním oteplování. Rozvoj čisté energetiky, ztenčující se zásoby fosilních paliv a nebezpečí náhlé odstávky jsou dalšími důvody k postupné dekarbonizaci, a to nejen u velkých zdrojů.

Emisní limity způsobují u zastaralých technologií v energetickém průmyslu značné problémy, proto se energetika na základě technologických a ekologických poznatků neustále vyvíjí. Udržitelný rozvoj je podmíněn odklonem od fosilních paliv a decentralizací energetických celků. Dotační podpory Nová zelená úsporám a kotlíkové dotace mají umožnit vznik většího počtu malých ekologických zdrojů.

V současné době se jako nejvýhodnější systém jeví fotovoltaická elektrárna umístěna na střeše objektu, doplněna tepelným čerpadlem, bateriemi a akumulací tepla. Tento systém je vhodný pro novostavby nebo jako záměna nevyhovujících kotlů I. a II. třídy, které nebude možné po 1. 9. 2022 provozovat. Při záměně za nevyhovující kotel ubude jeden lokální znečišťovatel ovzduší. Dalším pozitivním faktorem tohoto úsporného zařízení je částečná energetická soběstačnost.

1 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo (TČ) je zařízení, které převádí tepelnou energii z nižší teplotní úrovně na vyšší teplotní úroveň. Pracuje podle principu druhého termodynamického zákona, konkrétně z Clausiovy formulace, která říká, že teplo nemůže samovolným způsobem přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší. Pomocí kompresu poháněného elektrickou energií lze nízkopotenciální teplo převést na vyšší teplotní hladinu. Zdrojem nízkopotenciální energie může být vzduch, voda nebo země. Uvádí se, že TČ ke svému provozu využívá třetinu elektrické energie, zbývající dvě třetiny pochází z obnovitelných zdrojů. Je to tedy částečně obnovitelný zdroj energie, pokud elektrická energie pochází z rozvodné sítě. V případě, že elektrická energie přichází z fotovoltaické elektrárny (FVE), jedná se o plně obnovitelný zdroj. TČ slouží k chlazení a k výrobě tepla pro vytápění a ohřev teplé vody (TV). [1] [2]

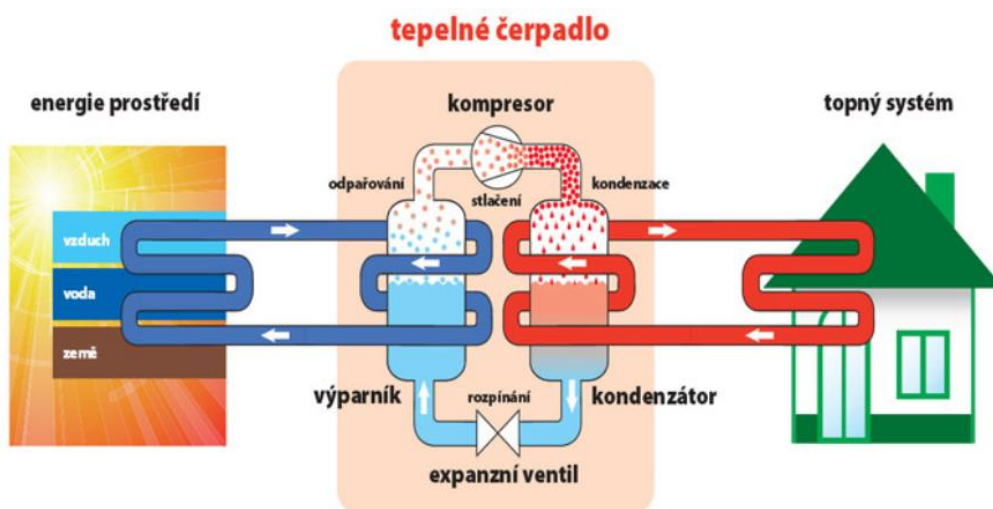
1.1 Princip tepelného čerpadla

TČ odebírá tepelnou energii z okolního prostředí a předává ji po stlačení při vyšší teplotě do otopné soustavy.

Základní částí TČ je kompresorový (chladičový) okruh předávání tepelné energie. Skládá se z výparníku, kompresoru, kondenzátoru a expanzního ventilu.

Další nedílnou součástí TČ je primární a sekundární okruh. Primární okruh na vstupní straně TČ přivádí teplo z nízkopotenciálního zdroje do výparníku. Sekundární okruh na straně kondenzátorového výměníku odvádí získané teplo do otopné soustavy.

Kapalné chladivo prostřednictvím výparníku odebírá teplo z nízkopotenciálního zdroje (vzduch, kapalina). Se vzrůstající teplotou se chladivo odpařuje do plynné fáze. Odpařené chladivo se v kompresoru stlačí a současně se vzrůstajícím tlakem narůstá i jeho teplota. Stlačený plyn je veden do kondenzátoru, kde předá ve druhém výměníku teplo chladnější teplotnosné látce. Následně se ochladí a zkondenzuje. Chladivo ve formě kapalné látky proudí do expanzního ventilu, kde se sníží tlak, a klesne jeho teplota. Dále ve výparníku přebírá teplo ze zdroje a cyklus se opakuje. [1] [3] [4]

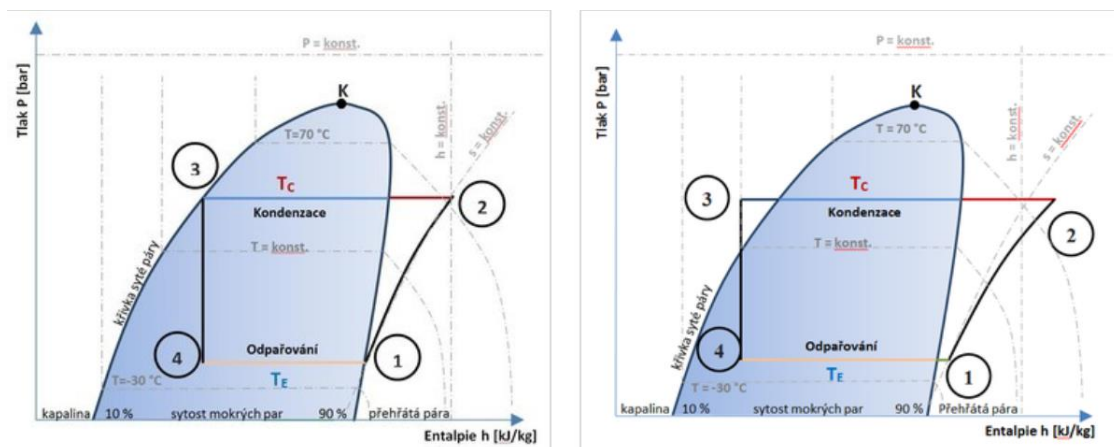


Obr. 1.1 Schéma funkce TČ [5]

1.2 Pracovní cyklus tepelného čerpadla

Toky energií za rozdílných teplot popisuje teoretický pracovní cyklus v T-s (teplota-entropie) diagramu, nazývaný Carnotův ideální cyklus.

Skutečnému oběhu TČ se blíží Rankin-Clausiusův cyklus, který znázorňuje chladivový okruh v závislosti tlaku na entalpii. Obrázek vlevo znázorňuje oběh za ideálních podmínek, obrázek vpravo skutečný oběh. [2]



Obr. 1.2 Ideální a reálný Rankin-Clausiusův oběh [6]

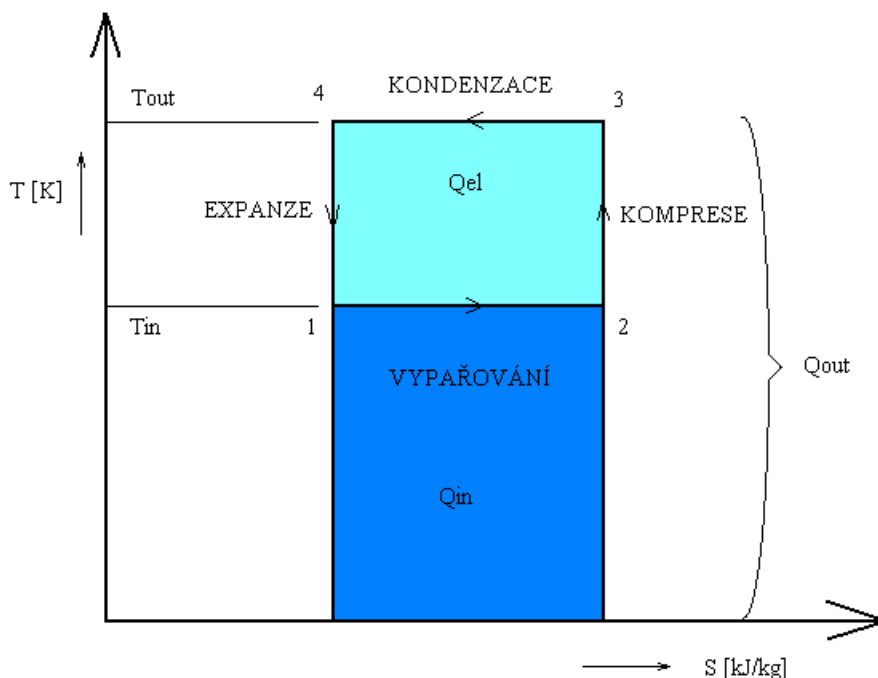
V p-h diagramu ideálního chladicího zařízení probíhá izoentropická komprese ze stavu syté páry 1 na stav přehřáté páry 2. U skutečného oběhu TČ probíhá komprese polytropicky. Tato odchylka je způsobena tepelnými ztrátami z elektromotoru kompresoru a třecími ztrátami vlivem pohyblivých ploch. V kondenzátoru se přehřáté páry ochlazují a předávají teplo otopné vodě při kondenzační teplotě T_c . Pro správnou funkci expanzního ventilu dochází v reálném oběhu na mezi syté páry k podchlazení kapalného chladiva. Z bodu 3 do bodu 4 dochází v expanzním ventilu ke snížení teploty a tlaku, a tím přejde chladivo do stavu mokré páry 4. V ideálním oběhu prostřednictvím výparníku probíhá vypařování do stavu syté páry, v reálném oběhu do stavu mírně přehřáté páry. [1] [7] [8] [9]

1.3 Topný faktor

Základním parametrem TČ je jmenovitý topný faktor (COP, z anglického Coefficient of Performance). Je to bezrozměrná veličina vyjadřující poměr tepelného výkonu k elektrickému příkonu, stanovena za určitých a ustálených podmínek. Pro posouzení efektivnosti TČ je nutné znát podmínky, za kterých je topný faktor stanoven. To znamená vstupní a výstupní teplotu teplotnosné látky. Teplotní rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotnosnou látkou vyjadřuje teplotní spád. Čím nižší teplotní rozdíl mezi T_{IN} a T_{OUT} , tím větší topný faktor, tudíž lepší efektivita TČ. Hodnota topného faktoru se pohybuje v rozmezí od 2 do 7 v závislosti na provozních podmínkách. Topný faktor s hodnotou 3 znamená, že tepelné čerpadlo vyprodukuje třikrát více energie, než kolik spotřebuje – na 1 kWh elektrické energie TČ vyrobí 3 kWh tepelné energie. Při výpočtu se započítává pouze spotřeba kompresoru. Oběhová čerpadla a ventilátory nejsou započítány. (Aktuální topný faktor se pak může lišit). [1] [2] [3] [10]

$$COP = \frac{ENERGIE ZÍSKANÁ (TOPNÝ VÝKON)}{ENERGIE SPOTŘEBOVANÁ (ELEKTRICKÝ PŘÍKON)} [-]$$

Odvození topného faktoru vychází z T-s diagramu, resp. z obráceného Carnotova cyklu.



Obr. 1.3 Teoretický pracovní cyklus TČ (upraveno) [1]

Ideální pracovní cyklus se skládá ze čtyř fází:

- 1-2 izotermické vypařování
- 2-3 adiabatická komprese
- 3-4 izotermická kondenzace
- 4-1 adiabatická expanze

Plocha Q_{IN} představuje množství energie z nízkopotenciálního zdroje tepla, plocha Q_{EL} představuje množství elektrické energie dodané pracovnímu cyklu při kompresi. Součtem těchto dvou ploch získáme celkovou tepelnou energii určenou do otopné soustavy. [1]

$$COP = \frac{Q_{OUT}}{Q_{EL}} = \frac{(Q_{IN} + Q_{EL})}{Q_{EL}} = \frac{T_{OUT}}{(T_{OUT} - T_{IN})} [-] \quad (1.1)$$

Kde:

- T_{IN} vstupní teplota teplotnosné látky [K]
- T_{OUT} výstupní teplota teplotnosné látky [K]
- Q_{IN} energie získaná ze zdroje při teplotě T_{IN} [kW]
- Q_{EL} elektrická energie pro pohon kompresoru [kW]
- Q_{OUT} výsledná energie při vyšší teplotě T_{OUT} [kW]

Pro efektivnější provoz TČ je výhodnější využívat zdroj tepla s vyšší teplotou (např. zemní vrty) a teplo předávat do otopné soustavy s nižší teplotou (např. velkoplošný nízkoteplotní systém podlahového vytápění nebo otopná tělesa s velkou výhřevnou plochou, kde je nejvyšší teplota teplonosné látky, cca 40 °C). [1]

Celoroční provoz TČ popisuje sezónní topný faktor (SCOP, z anglického Seasonal Coefficient of Performance). Na rozdíl od topného faktoru COP, který je uveden pro konkrétní teplotní podmínku (např. COP = 3,5 při A3/W35 – teplota vzduchu 3 °C a teplota otopné vody 35 °C), je SCOP stanoven pro celoroční provoz. SCOP, často označován jako SPF (z anglického Seasonal Performance Factor) je vypočítán pro normované provozní podmínky (daná tepelná ztráta objektu a otopné soustavy, určené množství odebírané teplé vody, započítaná práce oběhových čerpadel a další možná energetická zátěž), které neodpovídají reálnému provozu. Pro skutečné posouzení efektivity TČ je třeba znát konkrétní provozní podmínky, protože standardizované podmínky nejsou relevantní pro konkrétní objekt. [1] [2] [3]

Míru kvality TČ garantuje evropská značka Q, která potvrzuje shodu mezi prezentovanými a skutečnými parametry. [11]

1.4 Komponenty tepelného čerpadla

Základními komponenty TČ jsou kompresor, kondenzátor, expanzní ventil a výparník. Dalšími součástmi TČ jsou sběrač kapalného chladiva, presostat, trojcestný ventil, kapiláry a průhledítko, které mají funkci spíše kontrolní a ochrannou. V této podkapitole jsou popsány pouze základní prvky TČ a chladivo, které je hlavním nositelem nízkoteplotní energie. [1]

1.4.1 Kompresor

Kompresor v TČ nasává a stlačuje páry chladiva z výparníku, kde dochází ke zvýšení teploty par, které následně vedou do kondenzátoru. Pro práci kompresoru je zapotřebí elektrická energie, která může být odebírána z rozvodné sítě nebo z vlastní FVE.

Základním parametrem kompresoru je sací výkon, kompresní poměr, hlučnost a těsnost. Sací výkon udává objemový tok nasávaných par vztažených k sacímu tlaku. Kompresní objem vyjadřuje poměr mezi výtlačným a sacím tlakem.

Nejpoužívanější provedení kompresoru je hermetické, to znamená, že je kompresor společně s elektromotorem a olejovou náplní uzavřen v tlakové nádobě. Výhodou tohoto provedení je těsnost. Existuje i polohermetické a otevřené provedení. [1]

Pro TČ se nejčastěji používají rotační kompresory typu scroll, které jsou buď jednoduché nebo dvojité. [12]

Scroll kompresor

Obsahuje pevnou a pohyblivou spirálu, které jsou do sebe vloženy. Pohyblivá spirála koná excentrický pohyb v pevné spirále. Tímto pohybem se vytváří plynové kapsy, které se od obvodu ke středu postupně zmenšují, a tím dochází vlivem stlačení chladiva ke zvýšení teploty. Chladivo ve formě plynu je po obvodu spirály nasáno a vystupuje výfukovým otvorem ve středu spirály pod vyšším tlakem (viz obr. 1.5). Scroll kompresor se vyznačuje nižší hladinou hluku, vyšší energetickou účinností (vyšší chladicí faktor) a minimální vnitřní tepelnou ztrátou. [1] [2]



Obr. 1.4 Scroll kompresor [13]



Obr. 1.5 Princip funkce scroll kompresoru [14]

EVI scroll kompresor

Novější typ scroll kompresoru je EVI scroll (vstřikování par, z anglického Enhanced Vapour Injection). V průběhu stlačování par chladiva dochází k dodatečnému ochlazení nástřikem par chladiva do mezirotového prostoru, a tím se udržuje konstantní teplota výtlaku. Při přebytku topného výkonu je možné funkci EVI vypnout nebo regulovat podle aktuálních provozních podmínek. Výhodou tohoto systému je zvýšení teploty otopné vody i při nízkých venkovních teplotách. [12] [15]

Digital scroll kompresor

Výhodou tohoto nejnovějšího systému je možnost měnit jmenovitý topný výkon v rozmezí od 10-100 %. Regulace je díky schopnosti oddálení rotorů od sebe, což umožňuje přerušení stlačovací fáze kompresoru. [12]

Dvojitý rotační kompresor

Je tvořen dvěma komorami, v nichž se otáčí excentrická vačka. Vačky, které stlačují chladivo, jsou naproti sobě a sdílí společnou hřídel pro vyrovnání namáhání hřídele a ložisek rotoru. Předností je malá mechanická zátěž, tichý provoz a vysoká účinnost. [12]

Technologie Inverter

Pomocí frekvenčního měniče se plynule řídí otáčky kompresoru a tím se reguluje topný výkon v rozmezí od 30-100 %. Díky invertorové technologii se významně sníží spotřeba elektrické energie. [16]

1.4.2 Kondenzátor

Druhý výměník tepla na sekundárním okruhu TČ, ve kterém dochází ke kondenzaci par chladiva na kapalinu. Ke kondenzaci dochází při odevzdání tepla, když je kondenzační teplota větší, než je teplota teplotonosné látky otopné soustavy. Platí Clausiova formulace druhého termodynamického zákona. [1]

Deskové výměníky

V TČ se nejčastěji používají pro vodou chlazené kondenzátory deskové výměníky. Skládají se z nerezových (případně titanových) desek s tvarovanými prolisy, kterými proudí odděleně proti sobě chladivo a teplotonosná látka. Výhodou vodou chlazeného kondenzátoru je větší součinitel přestupu tepla, větší účinnost a chemická odolnost. Maximální provozní tlak deskových výměníků je až 3 MPa. Nevýhodou může být ucpání nečistotami kvůli malým mezerám mezi deskami. Důležitým parametrem výměníku je výkon a tlaková ztráta. Efektivita je ovlivňována počtem desek a jejich velikostí. [1]

1.4.3 Expanzní ventil

Expanzní ventil vstřikuje do výparníku optimální množství kapalného chladiva pro optimální plnění a provoz výparníku. Tlak chladiva je škrtícím ventilem snížen, tím dojde k varu chladiva a následnému vypařování. Škrtící ventil zajišťuje přehřátí par, které musí být kompresorem nasávány bez podílu kapaliny, aby nedošlo k jeho poškození. [1] [9]

Termostatický expanzní ventil (TEV)

Teplotní čidlo, resp. tykavka, je malá nádoba naplněna chladivem, která při vzrůstající teplotě zvyšuje tlak. Pomocí kapiláry je tlaková síla přenášena na membránu. Pod membránou působí tlak chladiva a pružiny. Rozdílem tlaků nad membránou a pod membránou vzniká požadovaná síla přehřátého chladiva, která otevírá nebo zavírá trysku. [1] [3]

Elektronický expanzní ventil (EEV)

Elektronická jednotka řídí elektromagnetický pohon, díky které se tryska určité velikosti otevírá nebo zavírá. Regulace je na základě teplotního a tlakového čidla za výparníkem. Narozdíl od TEV neobsahuje membránu. EEV řídí teplotu přehřátí páry chladiva, zvyšuje topný faktor a snižuje teplotní namáhání kompresoru. [3] [17]

1.4.4 Výparník

Další výměník tepla na vstupní straně TČ. Chladivo odebírá tepelnou energii z nízkopotenciálního zdroje, tím mění svoje skupenství z kapalného na plynné, a následně se odpařuje. Aby k tomu došlo, okolní teplotonosná látka musí mít vyšší teplotu než vypařovací teplotonosná látka.

Pro kapalnou teplotonosnou látku u systému země-voda nebo voda-voda se používají deskové výměníky, pro vzduch u systému vzduch-voda se používají lamelové výměníky. [1]

Lamelové výměníky

Skládají se z měděných nebo hliníkových trubek opatřenými lamelami pro zvětšení teplosměnného povrchu. [1]

1.4.5 Chladiva

Chladivo je cirkulující pracovní látka v tepelném okruhu, která ve výparníku odebírá při nízké teplotě tepelnou energii, a předává ji v kondenzátoru při vysoké teplotě otopné vodě. Ve výparníku mění své skupenství na plynné, v kondenzátoru zpět na kapalné.

V současné době se používají fluorované skleníkové plyny (fluorované uhlovodíky – HFC), které nepoškozují ozonovou vrstvu, ale mají negativní vliv na globální oteplování.

Mezi nová chladiva se řadí jednosložkové R32 – difluormethan. Jeho GWP (potenciál globálního oteplování, z anglického Global Warming Potential) je 675. Tato hodnota znamená, že z 1 kg chladiva se uvolní 675 kg CO₂. Od roku 2025 budou chladiva s GWP vyšším než 750 evropskými předpisy zakázány. R32 je ekologičtější a má vyšší energetickou účinnost.

Manipulaci s chladivem smí provádět jen odborná osoba v oboru chladírenství. Při provozu a servisu TČ musí být zaručena těsnost chladivového okruhu. [18] [19]

1.5 Rozdělení tepelných čerpadel podle nízkopotenciálního zdroje

Rozlišujeme několik druhů TČ v závislosti na způsobu získávání energie. Výběr primárního zdroje ovlivňuje konstrukci a účinnost TČ. První slovo v názvech systémů představuje nízkoteplotní zdroj tepla, druhé slovo označuje pracovní látku, do které se tepelná energie předává. [1]

1.5.1 Vzduch-voda

Je nejpoužívanější systém u TČ. Vzduch patří mezi nevyčerpatelný zdroj tepla, proto se jedná o nejekologičtější způsob získávání tepla. Přiváděný vzduch proudí přes výparník, který je součástí ventilátoru potřebného pro lepší přenos tepla ze vzduchu. Hlavní výhodou je nízká pořizovací cena a jednoduchá montáž.

Mezi nevýhody patří nižší účinnost v závislosti k nízkým venkovním teplotám a spotřebou energie při odtávání výparníku, která je způsobena teplotou, a vyšší vlhkostí vzduchu. Další nevýhodou je vyšší hlučnost.

Provedení TČ vzduch-voda může být ve variantě monoblok nebo split. Monoblok, resp. kompaktní TČ je umístěn venku nebo vevnitř. V případě venkovního kompaktu je celá jednotka výrobcem naplněna chladivem a otopná voda je přivedena potrubím. U monobloku hrozí nebezpečí zamrznutí výparníku. U splitu je vnitřní a venkovní jednotka propojena tepelně izolovaným potrubím s chladivem. Pokud je kompresor součástí vnitřní jednotky, je tento konstrukční typ výhodný z důvodu tiššího provozu. Pro montáž split systému je nutná chladářská profese. [2] [3] [9]



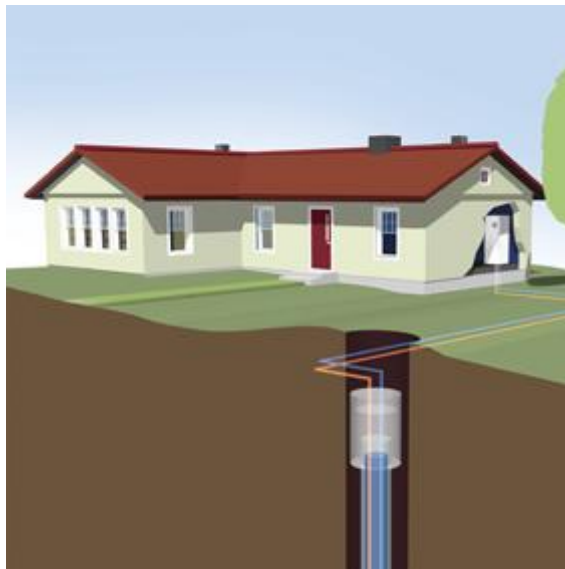
Obr. 1.6 Vzduch-voda [20]

1.5.2 Země-voda

Primární uzavřený okruh je tvořen nemrznoucí směsí proudící v zemním kolektoru z plastových polyetylenových trubek. Nemrznoucí směs odebírá teplo z půdy a předává ho do výparníku TČ. Předností systému země-voda je stabilní teplota zdroje, a tím spjatá lepší účinnost, čistota teplotnosné směsi, eliminace rizika zamrznutí a delší životnost. Rozlišujeme plošný a svislý kolektor. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady. [1] [10]

Svislé kolektory

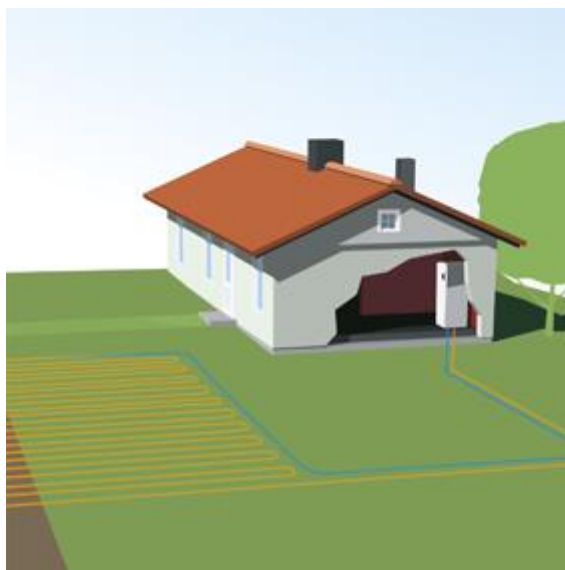
Vrt o průměru 15 cm není náročný na plochu pozemku, ale hloubka vrtu dosahuje průměrně 150 m. U větších výkonů se realizuje více vrtů a vzdálenost mezi nimi musí být alespoň 7 m. Pro lepší přenos tepla je prostor mezi trubicemi svislého kolektoru a zemí vyplněn směsí bentonitu a cementu. Hlavní nevýhodou jsou vysoké náklady na realizaci vrtu. [3] [10]



Obr. 1.7 Svislý kolektor [21]

Plošné kolektory

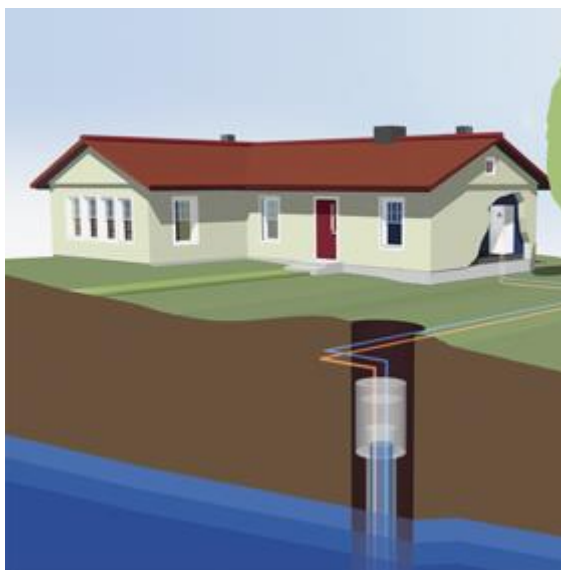
Ukládají se do nezámrazné hloubky 1,2-1,5 m a musí být od sebe vzdáleny 1,2 m. U plošného kolektoru je velký nárok na plochu pozemku (obvykle 200-400 m²). [10] [22]



Obr. 1.8 Plošný kolektor [23]

1.5.3 Voda-voda

Systémy voda-voda jsou používány méně, vzhledem k nejistotě stálosti vodního zdroje v důsledku poklesu hladin spodních vod. Zdrojem je nejčastěji studniční voda, která je čerpána do výparníku TČ. Po předání tepla se vrací do vsakovací studny. Zdrojová (jímací) a vsakovací studna musí být od sebe ve vzdálenosti minimálně 15 m. Výhodou vodního zdroje je teplotní stálost (kolem 10 °C), která vede k vysokému topnému faktoru. Výjimečně je zdrojem tepla povrchová voda, u které je odběr tepla uskutečňován pomocí kolektorů. Pouze v případě získání povolení od správce povodí. U systémů voda-voda je zohledňována čistota, chemické složení vody a výška hladin. [2] [16]



Obr. 1.9 Voda-voda (studna) [24]

2 Fotovoltaický systém

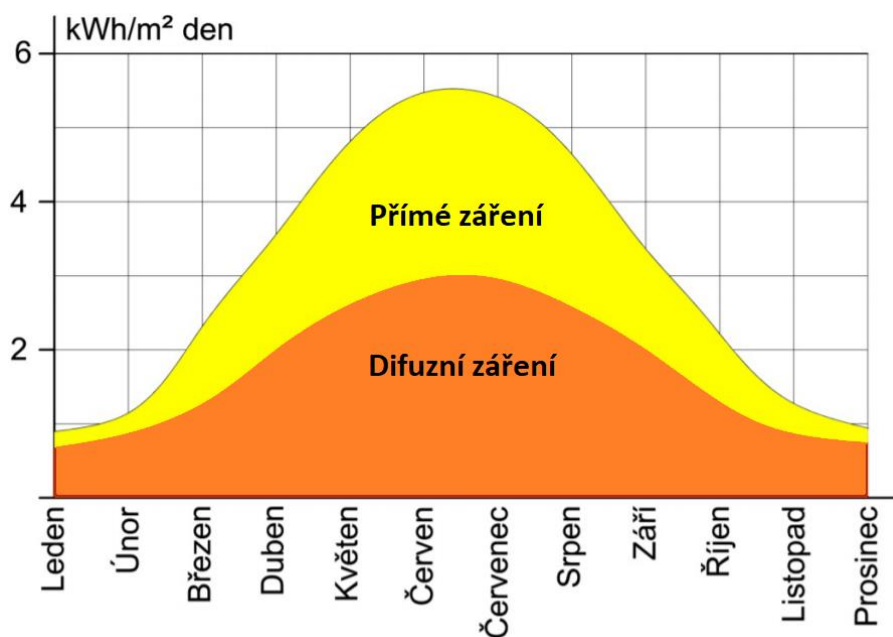
Slunce představuje hlavní zdroj energie nezbytný pro život na Zemi. Jedná se o elektromagnetické záření, které dopadá na povrch Země o výkonu $1,8 \cdot 10^{14}$ kW. Téměř celá energie slunečního záření je atmosférou pohlcena nebo odražena a na zemský povrch dopadne kolmo k ploše sluneční konstanta (měrný tok energie) o hodnotě $1,36 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$. [25] [26]

2.1 Sluneční záření

Spektrum slunečního záření se podle velikosti vlnové délky dělí na krátkovlnné a dlouhovlnné záření. Dalším dělením rozlišujeme viditelné, ultrafialové, světelné a infračervené záření.

Sluneční (globální) záření tvoří složku přímého (kolmého) a difuzního (rozptýleného) záření. Špičkový výkon FVE je při bezoblačném počasí, kdy je přítomné přímé záření. Při zataženém obloze se přímé záření v atmosféře rozptýlí a na zemský povrch dopadá pouze difuzní složka.

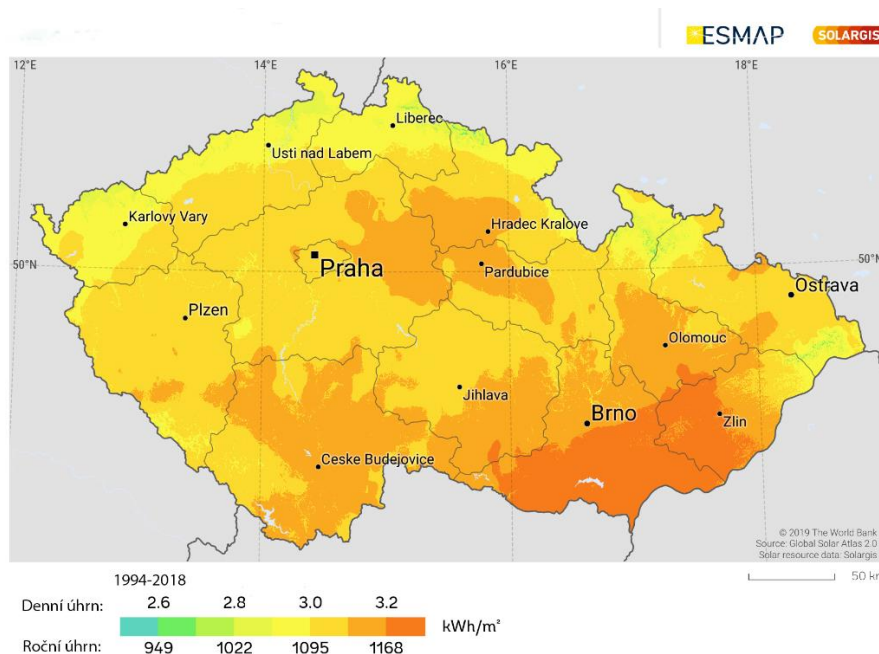
Atmosféra ovlivňuje intenzitu slunečního záření zeměpisnou polohou (výška slunce, nadmořská výška), mírou znečištění atmosféry a aktuálním počasím. [25] [26]



Obr. 2.1 Přímé a difuzní záření (upraveno) [27]

Geografické podmínky v České republice

Průměrná roční doba slunečního svitu na území ČR je 1400-1700 h·rok⁻¹. V ČR se s ohledem k zeměpisné šířce mění výhodnost polohy FVE. Nejpriznivější poloha v ČR je pro FVE jihovýchod (např. jižní Morava), nejméně slunečního záření dopadá na severozápad (viz obr. 2.1.). Za rok dopadne na jeden m² přibližně 950-1340 kWh energie. [28]



Obr. 2.2 Globální záření v ČR (upraveno) [29]

2.2 Fotovoltaický jev

Jedná se o fyzikální jev, který umožňuje přeměnu energie proudu fotonů (slunečního záření) na elektrickou energii. Fotony (částice slunečního záření) při dopadu na povrch polovodiče předají svou energii elektronům, které se díky dodané energii uvolní z krystalové mřížky, a stanou se nosiči elektrického proudu. Jde o takzvaný vnitřní fotoelektrický jev – uvolněné elektrony zůstávají v materiálu. K uvolnění elektronů dojde za předpokladu, že energie fotonů je minimálně 1,1 eV. Tato hodnota odpovídá infračervenému záření. S kratší vlnovou délkou narůstá energie fotonů. [26] [30]

2.3 Komponenty fotovoltaické elektrárny

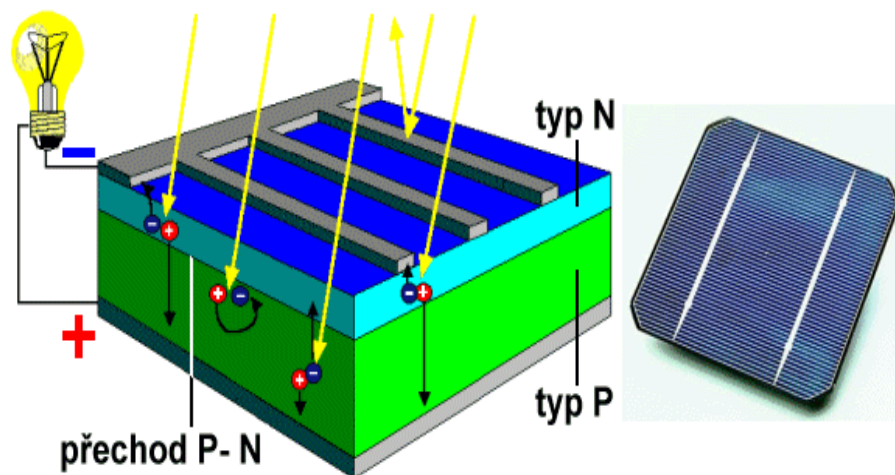
Fotovoltaický systém se skládá z fotovoltaického panelu, regulátoru, střídače, obousměrného elektroměru, domovního rozvaděče a dalších součástí, kterými jsou propojovací vodiče a ochranné prvky. [30]

2.3.1 Fotovoltaický článek

Je součástí fotovoltaického panelu. Skládá se z křemíkové polovodičové diody, která tvoří dvě rozdílně dotované vrstvy – polovodič typu P – anodu (s obsahem boru) a polovodič typu N – katodu (s obsahem fosforu). Mezi tyto polovodiče je tzv. P-N přechod. Při dopadu slunečního záření (fotonů) se vytváří volné elektrony a díry. Elektrony přitékají do polovodiče

typu n, kde je kladný náboj. Díry do polovodiče typu p, která má záporný náboj. Náboje se vlivem opačné polaritě odpuzují a vzniká elektrické napětí o hodnotě přibližně 0,6 V. Při zapojení ke zdroji protéká elektrickým obvodem přes spotřebič stejnosměrný proud (DC).

Povrch fotovoltaického článku je tvořen antireflexní vrstvou, aby se minimalizovaly ztráty odrazivosti a maximalizovalo množství pohlcených fotonů (antireflexní vrstva snižuje odrazivost o 10 %). Fotovoltaický článek vlivem ztrát (nevyužití krátkovlnné nebo dlouhovlnné záření, rekombinace, reflexe, zastínění aj.) dosahuje účinnosti kolem 20 %. [26] [30] [31]



Obr. 2.3 Fotovoltaický článek [32]

První generace – krystalické články

Jedná se o monokrystalické a polykystalické články, jejichž základem jsou destičky z krystalického křemíku. V dnešní době patří mezi nejpoužívanější články. Monokrystalické články dosahují vyšší účinnosti při vyšších intenzitách slunečního záření a při přímém kolmém záření. Naopak polykystalické články dosahují vyšší účinnosti při nižších intenzitách slunečního záření a lépe využívají difuzní světlo. Antireflexní vrstva způsobuje u monokrystalických článků tmavomodrou až černou barvu, u polykystalických článků modrou barvu. Monokrystalický článek má většinou čtvercový tvar se zaoblenými hrany, polykystalický článek je čtvercový. Výroba monokrystalických článků je dražší. [26] [30] [31]

Druhá generace – tenkovrstvé články

Základním požadavkem pro vývoj druhé generace fotovoltaických (FV) článků byla úspora výrobních nákladů s menším množstvím křemíku. Vyznačuje se používáním tenké absorbující polovodičové vrstvy, která je stokrát – tisíckrát tenčí než u článků první generace.

Představiteli tenkovrstvých článků jsou amorfni křemíkové články (a-Si), články CIS (dvojselenid mědi-india) a články teluridu kadmnatého (CdTe).

Amorfni křemíkové články lépe absorbují difuzní světlo, jsou levnější a flexibilní. Struktura amorfniho křemíku je oproti krystalickému křemíku nepravidelná a obsahuje nečistoty. Důsledkem je nižší účinnost (kolem 7 %). Pro větší účinnost (kolem 13 %) je možné použít více vrstev. Další nevýhodou je nižší životnost. [26] [31] [33] [34]

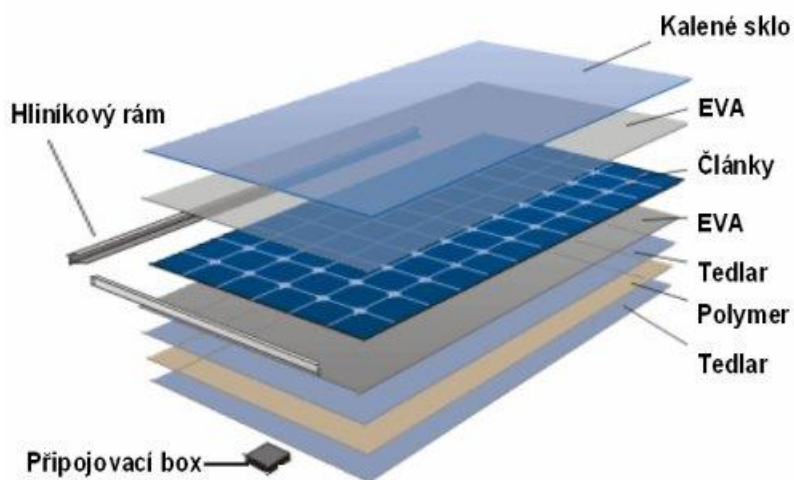
Třetí generace

Třetí generace, nazývaná jako fotovoltaická revoluce, je stále ve vývoji. Zaměřuje se na zvýšení účinnosti fotovoltaických článků, nevýhody první a druhé generace a na jejich odstranění. Zkoumají se například vícevrstvé články (z tenkovrstvých článků), koncentrátorové a organické články. Potenciál je u bifaciálních (oboustranných) panelů a dále u tandemových perovskitových článků, u kterých byl zaznamenán nový rekord s účinností 24,8 %. Výhodou článků z perovskitu je jednodušší a levnější výroba. [26] [33] [35]

2.3.2 Fotovoltaický panel

Je tvořen fotovoltaickými články propojenými v sérioparalelním zapojení. Napětí panelů je běžně 12 V nebo 24 V. Jeden článek má napětí přibližně 0,6 V. Špičkový výkon panelů za ideálních podmínek se udává v jednotkách Wp (Watt peak).

Horní stranu panelu tvoří speciální tvrzené (kalené) sklo, které chrání panel před povětrnostními vlivy, vlhkostí a mechanickým namáháním. Antireflexní vrstva zajišťuje větší propustnost světelného záření o 10 %. Pod sklem je umístěna folie z etylenvinylacetátu (EVA) zajišťující dokonalou těsnost a ochranu článků před mechanickým poškozením. Pod články se opět umísťuje vrstva z EVA a zadní stranu modulu chrání umělohmotná folie Tedlar. Celý modul je utěsněn a osazen na pevném hliníkovém rámu. [26] [30]



Obr. 2.4 Fotovoltaický panel [36]

2.3.3 Střídač

Inventor (měnič, střídač) přeměňuje stejnosměrný proud na střídavý a mění napětí z 12 V na 230 V pro napájení domácích spotřebičů. Dále reguluje tok energie do sítě, spotřebičů a baterií, monitoruje chod FVE a v případě poruchy se dokáže odpojit. Odlišujeme střídače ostrovní (off-grid), síťové (on-grid) a hybridní. [33]

Hybridní systém

V současné době jde o nejlepší způsob ve využití vyrobené energie z FVE. Umožňuje přebytek elektřiny uchovat do akumulátoru, při nedostatku elektřiny čerpat z distribuční sítě, popřípadě přebytky posílat do distribuční sítě.

Výhodou hybridního systému je možnost zabudování MPPT (Maximum Power Point Tracker) regulátoru, který optimalizuje výkon systému, a tím zvyšuje účinnost systému přibližně o 30 %. Pro FVE s instalovaným výkonem větším než cca 4 kWp je nutný třífázový střídač. [37] [38]

Pro možnost provozování v ostrovním režimu je nutné doplnit FV zařízení o back-up systém. [39]

2.3.4 Regulátor optimalizace spotřeby

Jedná se o tzv. Wattrouter. Optimalizuje využití elektrické energie vyrobené z FVE a minimalizuje tok elektrické energie z distribuční sítě.

2.3.5 Elektroměr

Měří a optimalizuje množství elektrické energie vyrobené a spotřebované z FVE, elektřiny spotřebované z distribuční sítě a přebytek elektřiny poslané do distribuční sítě. U hybridních systémů s využitím akumulace se používá obousměrný elektroměr. Dodávku a instalaci elektroměru zajišťuje distributor elektrické energie.

2.4 Recyklace fotovoltaických panelů

Životnost FV panelů výrobce deklaruje na 25 let s poklesem účinnosti maximálně na 80 %. Krystalický panel tvoří ze 70-80 % hmotnosti sklo, z 20 % hliník, dále plasty, křemík a vzácné kovy. Všechny materiály jsou recyklovatelné. Recyklovatelné materiály se znovu používají na výrobu FVE, popřípadě jsou využity ve stavebnictví. Byl zaveden systém PV cycle, který zajišťuje recyklaci. FV panely se recyklují termickou nebo mechanicko-chemickou metodou. [40]

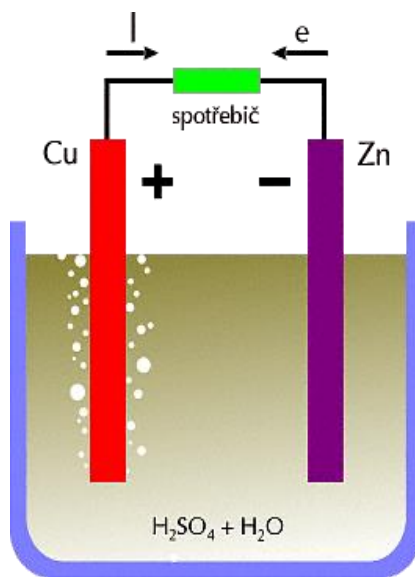
3 Akumulátor elektřiny

Baterie (SSE) (stacionární skladovací systém energie) umožňují opakovaně uchovat elektřinu na určitou dobu. Považujeme je za sekundární články, tzv. až po dodání energie akumulátoru umožňují energii ukládat. Elektřina se nedá uskláňovat přímo, proto dochází k vratným přeměnám elektřiny na chemickou, mechanickou nebo tepelnou energii. Společným ukazatelem je, že elektrický proud je vstupním i výstupním produktem. Baterie poskytují služby regulace frekvence a poskytnutím záložní energie zmírňují kolísavou výrobu elektřiny z OZE (obnovitelný zdroj energie). [41] [42]

3.1 Elektrochemický článek

Dříve označován jako galvanický článek. Přeměňuje elektrickou energii na chemickou, popřípadě umožňuje přeměnu z chemické na elektrickou. Palivový článek používá dvě elektrody (jedna je z mědi, druhá ze zinku), mezi kterými je elektrolyt. K záporné elektrodě (anodě) je přiváděn vodík, ke kladné elektrodě (katodě) kyslík. Mezi elektrodami se palivo (vodík) s ionizovaným kyslíkem (O_2) katalyticky slučují, čímž vzniká elektrický proud.

Napětí elektrochemických článků v závislosti na typu akumulátoru dosahuje přibližně 1,1-2 V. [43] [44]



Obr. 3.1 Elektrochemický článek [45]

3.2 Elektrolyt

Elektrolyt je kapalina tvořená kyselinou sírovou (H_2SO_4). Působením stejnosměrného proudu dochází v kapalině ke štěpení částic na ionty, anionty a kationty. Mezi elektrodami, které jsou připojené na zdroj napětí vznikne elektrické pole. Ve vzniklém elektrickém poli se pohybují anionty směrem k anodě a kationty směrem ke katodě. Anionty odevzdají svůj náboj za vzniku neutrálního atomu, kationty si z katody doplní elektrony. Neutrálnost částic uvolněných na elektrodách a probíhající chemické reakce způsobí v elektrolytu vznik elektrického proudu. [41]

3.3 Lithium-iontové baterie

Lithium-iontové baterie dominují v současné době na trhu. Předpokládá se jejich rapidní snížení cen a že se stanou nejlevnější variantou pro skladování energie. Do roku 2030 budou mít nejnižší LCOS (sdružená cena energie, z anglického Levelized Cost of Energy). Baterie poskytují vybití do 8 hodin. Pozitivním faktorem je jejich modularita. [42]

HE3DA

Novinkou akumulátorů je lithium-iontová baterie HE3DA (vysokokapacitní třírozměrná baterie, z anglického High Energy 3D Accumulator). Baterie má hliníkový obal, je mechanicky odolná a má vysokou odolnost vůči požáru. Technické parametry se budou vyvíjet. Uplatnění najde u elektromobilů, lodí, letadel a budov. [46]



Obr. 3.2 Baterie HE3DA [47]

4 Akumulátor tepla

Slouží k akumulaci tepla v době, kdy výkon topného zdroje převyšuje aktuální spotřebu pro vytápění. Umožňuje pokrýt dobu pro vytápění bez provozu topného zdroje. Akumulace tepla snižuje energetickou náročnost budov.

Součástí akumulátoru tepla mohou být zabudovaná elektrická tělesa jako doplňkový zdroj tepla. [48]

4.1 Akumulace citelného tepla

Je jeden ze způsobů akumulace tepla prostřednictvím ohřívání teplotonosné látky bez fázové přeměny. Jsou kladeny požadavky na velkou tepelnou kapacitu a nízkou cenu. Těmto požadavkům vyhovuje voda s měrnou tepelnou kapacitou $c_p = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Ukládání tepla probíhá buď do otopné vody, do TV nebo současně do otopné vody a TV. [49]

4.1.1 Teplo akumulované v otopné vodě

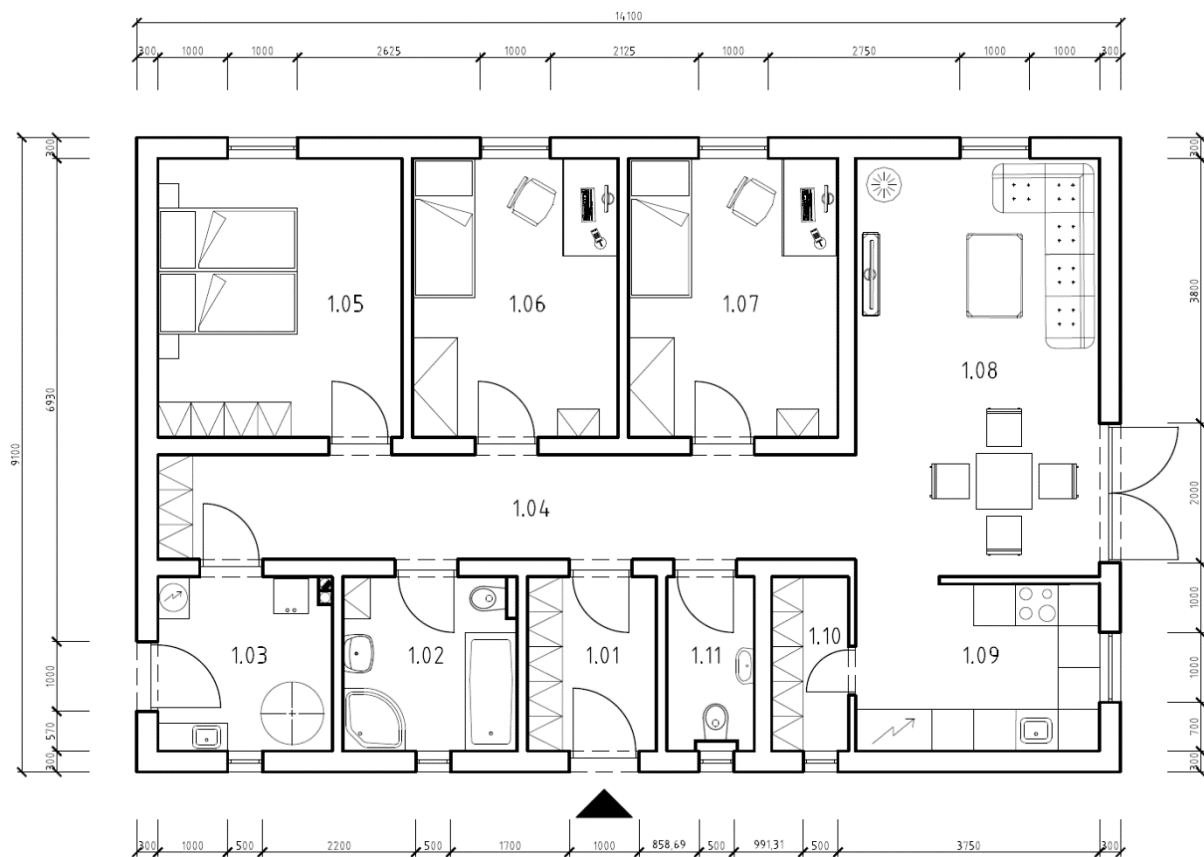
Akumulační nádrž připojená k TČ optimalizuje teplotu odcházející z TČ a teplotu otopné vody. Zapojení akumulací nádrže k TČ je vhodné z důvodu hydraulického oddělení jednotlivých topných okruhů. Kromě zmiňované výhody omezuje časté spínání TČ, a tím se prodlužuje životnost kompresoru. U otopné soustavy nedochází k obměně vody tak jako u TV, takže se minimálně zanášá potrubí a armatury. Nevýhodou akumulací nádrže při ohřívání na vyšší teplotu je snížení topného faktoru TČ. [48]

4.1.2 Teplo akumulované v teplé vodě

Voda v bojleru je ohřívána přes výměník, protože tato voda je neustále obměňována vodou z vodovodní sítě nebo studny. V případě velkého podílu minerálních látek ve vodě dochází k zanášení zařízení, proto je kladen důraz na hygienické požadavky na pitnou vodu. [50]

5 Energetické požadavky objektu

Vzorový objekt je přízemní rodinný dům (RD) se sedlovou střechou, který je situován v lokalitě Zlín. Podlahová plocha RD je 128,31 m² a bydlí v něm 4 osoby. Sklon sedlové střechy je 30 ° s orientací na jih.



Obr. 5.1 Půdorys domu (autor)

Tab. 5.1 Rozměry místností (autor)

ČÍSLO MÍSTNOSTI	ÚČEL MÍSTNOSTI	PLOCHA
1.01	VSTUPNÍ HALA	4,63 m ²
1.02	KOUPELNA	6,25 m ²
1.03	TECHNICKÁ MÍSTNOST	6,25 m ²
1.04	CHODBA	15,00 m ²
1.05	LOŽNICE	12,25 m ²
1.06	POKOJ 1	12,00 m ²
1.07	POKOJ 2	12,00 m ²
1.08	OBÝVACÍ POKOJ	21,00 m ²
1.09	KUCHYNĚ	8,40 m ²
1.10	SPÍŽ	2,75 m ²
1.11	WC	3,13 m ²

5.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla pro výpočet tepelných ztrát je pro jednotlivé konstrukce určen podle normy ČSN 73 0540-2 (viz tab. 5.2).

Pro příklad je uveden vzorec pro výpočet součinitele prostupu tepla U vnější stěnou. [51]

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ex}}} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}] \quad (5.1)$$

Kde:

- α_{in} součinitel prostupu tepla na teplejší straně [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
- α_{ex} součinitel prostupu tepla na chladnější straně [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
- d_i tloušťka i-té vrstvy [m]
- λ_i součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]

Tab. 5.2 Součinitel prostupu tepla

Popis konstrukce	$U_k [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
Stěna vnější	0,18
Podlaha	0,3
Strop	0,16
Okna	1,1
Vstupní dveře	1,1

5.2 Tepelná ztráta prostupem

Výpočet tepelné ztráty prostupem je proveden podle zjednodušené výpočtové metody z normy ČSN EN 12831 06 0206 z roku 2005. Při výpočtech je uvažována reálná vnitřní výpočtová teplota objektu. Pro lokalitu Zlín jsou stanoveny tyto hodnoty: [52] [53]

t_{in}	vnitřní výpočtová teplota $t_{in} = 22\text{ °C}$
t_{ex}	venkovní výpočtová teplota $t_{ex} = -12\text{ °C}$
d	počet dní otopného období $d = 216$
t_p	průměrná teplota otopného období $t_p = 3,6\text{ °C}$

Návrhová tepelná ztráta prostupem Q_T se vypočítá ze vzorce:

$$Q_T = \sum_k [A_k \cdot U_k \cdot f_k \cdot (t_{in} - t_{ex})] [W] \quad (5.2)$$

Kde:

A_k	plocha stavební části [m^2]
U_k	součinitel prostupu tepla pro jednotlivé plochy [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
f_k	teplotní korekční činitel pro stavební část při uvažování rozdílu teploty uvažovaného případu a výpočtové venkovní teploty ¹ [–]

Tab. 5.3 Tepelná ztráta prostupem

Popis konstrukce	$A_k [m^2]$	$U_k [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	$f_k [-]$	$Q_{T,k} [W]$
Stěna vnější	99,6	0,18	1	609,55
Podlaha	128,31	0,3	0,3	392,63
Strop	128,31	0,16	0,8	558,41
Okna	12	1,1	1	448,80
Vstupní dveře	4,4	1,1	1	164,56

Vypočítané hodnoty tepelné ztráty prostupem pro jednotlivé plochy $Q_{T,k}$ z tabulky 5.3 dosadíme do vzorce 5.2:

$$Q_T = \sum_k (Q_{T,k}) = 609,55 + 392,63 + 558,41 + 448,80 + 164,56$$

$$Q_T = 2174\text{ W}$$

¹ Vybrané hodnoty dle normy ČSN EN 12831 06 0206

5.3 Tepelná ztráta větráním

Výpočet tepelné ztráty větráním je proveden zase zjednodušenou výpočtovou metodou dle normy ČSN EN 12831 06 0206.

Návrhová tepelná ztráta větráním Q_V se vypočítá ze vzorce:

$$Q_V = 0,34 \cdot \dot{V}_{min} \cdot (t_{in} - t_{ex}) [W] \quad (5.3)$$

Kde:

\dot{V}_{min} hygienicky nejmenší požadované množství vzduchu pro vytápěný prostor
[$m^3 \cdot hod^{-1}$]

Nejmenší požadované množství vzduchu \dot{V}_{min} z hygienických důvodů se vypočítá ze vzorce:

$$\dot{V}_{min} = n_{min} \cdot V_i [m^3 \cdot hod^{-1}] \quad (5.4)$$

Kde:

n_{min} nejmenší intenzita výměny venkovního vzduchu² $n_{min} = 0,5 h^{-1}$
 V_i objem vytápěného prostoru $V_i = 320,78 m^3$

Po dosazení do vzorce 5.3 získáme:

$$Q_V = 0,34 \cdot (0,5 \cdot 320,78) \cdot [22 - (-12)]$$
$$Q_V = 1854 W$$

5.4 Celková tepelná ztráta objektu

Celková návrhová tepelná ztráta Q_{CZ} se vypočítá ze vzorce:

$$Q_{CZ} = (Q_T + Q_V) \cdot f_{\Delta t} [W] \quad (5.5)$$

Kde:

Q_T tepelná ztráta prostupem $Q_T = 2310 W$
 Q_V tepelná ztráta větráním $Q_V = 1909 W$
 $f_{\Delta t}$ teplotní korekční činitel³ $f_{\Delta t} = 1$

Po dosazení do vzorce získáme:

$$Q_{CZ} = (2174 + 1854) \cdot 1$$
$$Q_{CZ} = 4028 W$$

² Hodnota dle normy ČSN EN 12831 06 0206

³ Vybraná hodnota dle normy ČSN EN 12831 06 0206

5.5 Roční potřeba tepla pro vytápění

Výpočet celkové roční potřeby tepla pro vytápění $Q_{VYT,r}$ je proveden dle rovnice ze zdroje: [54]

Pro lokalitu Zlín jsou stanoveny tyto okrajové podmínky:

t_{in}	vnitřní výpočtová teplota $t_{in} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$
t_{ex}	venkovní výpočtová teplota $t_{ex} = -12\text{ }^{\circ}\text{C}$
d	počet dní otopného období $d = 216$
t_p	průměrná teplota otopného období $t_p = 3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon \cdot 24 \cdot Q_{CZ} \cdot D}{\eta_o \cdot \eta_r \cdot (t_{in} - t_{ex})} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ [kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \text{]} \quad (5.6)$$

Kde:

Q_{CZ}	celková tepelná ztráta [W]
D	počet denostupňů [$K \cdot dny$]
ε	opravný součinitel ⁴ $\varepsilon = 0,67$
η_o	účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy ⁵ $\eta_o = 0,98$
η_r	účinnost rozvodu vytápění ⁶ $\eta_r = 0,98$

Počet denostupňů D se určí ze vzorce:

$$\begin{aligned} D &= d \cdot (t_{in} - t_p) \\ D &= 216 \cdot (22 - 3,6) \\ D &= 3974 \text{ K} \cdot \text{dny} \end{aligned} \quad (5.7)$$

Po dosazení do vzorce 5.6 získáme:

$$\begin{aligned} Q_{VYT,r} &= \frac{0,67 \cdot 24 \cdot 4028 \cdot 3974}{0,98 \cdot 0,98 \cdot [22 - (-12)]} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \\ Q_{VYT,r} &= 28378 \text{ MJ} \cdot \text{rok}^{-1} \end{aligned}$$

Pro převod jednotek vydělíme výsledek hodnotou 3,6 a získáme:

$$Q_{VYT,r} = 7883 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

⁴ Vybraná hodnota ze zdroje pro ekvitermní regulaci [54]

⁵ Vybraná hodnota ze zdroje [54]

⁶ Vybraná hodnota ze zdroje [54]

5.6 Roční potřeba tepla na ohřev teplé vody

Výpočet celkové roční potřeby tepla na ohřev TV je proveden dle rovnic ze zdroje: [54]

Výpočet roční potřeby tepla $Q_{TV,r}$ na ohřev TV se vypočítá ze vzorce:

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) [kWh \cdot rok^{-1}] \quad (5.8)$$

Kde:

- $Q_{TV,d}$ denní potřeba tepla pro ohřev TV [$kWh \cdot den^{-1}$]
 d počet dní otopného období $d = 216$
 t_2 teplota ohřáté vody $t_2 = 55 \text{ } ^\circ C$
 t_{svl} teplota studené vody v létě $t_{sl} = 15 \text{ } ^\circ C$
 t_{svz} teplota studené vody v zimě $t_{sz} = 5 \text{ } ^\circ C$
 N počet pracovních dní soustavy $N = 365$

Výpočet denní potřeby tepla $Q_{TV,d}$ na ohřev TV se vypočítá ze vzorce:

$$Q_{TV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{1p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} [kWh \cdot den^{-1}] \quad (5.9)$$

Kde:

- z koeficient energetických ztrát systému $z = 0,5$
 ρ hustota vody $\rho = 1000 \text{ } kg \cdot m^{-3}$
 c měrná tepelná kapacita vody $c = 4186 \text{ } J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
 V_{1p} celková potřeba TV za den⁷ $V_{1p} = 0,05 \cdot 4 = 0,2 \text{ } m^3 \cdot den^{-1}$
 t_2 teplota ohřáté vody $t_2 = 55 \text{ } ^\circ C$
 t_1 teplota studené vody $t_1 = 10 \text{ } ^\circ C$

Po dosazení do vzorce 5.9 získáme:

$$Q_{TV,d} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,2 \cdot (55 - 10)}{3600}$$
$$Q_{TV,d} = 15,7 \text{ } kWh \cdot den^{-1}$$

⁷ Uvažována potřeba 0,5 m³ na osobu. Počítáno pro 4 osoby.

Po dosažení denní potřeby tepla pro ohřev TV do vzorce 5.8 získáme:

$$Q_{TV,r} = 15,7 \cdot 216 + 0,8 \cdot 15,7 \cdot \frac{55 - 10}{55 - 5} \cdot (365 - 216)$$

$$Q_{TV,r} = 5075 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

5.7 Celková roční potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody

Celkovou roční potřebu tepla $Q_{c,r}$ pro vytápění a ohřev TV získáme:

$$Q_{c,r} = Q_{VYT,r} + Q_{TV,r} \quad (5.10)$$

$$Q_{c,r} = 7883 + 5075$$

$$Q_{c,r} = 12958 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

5.8 Roční potřeba elektrické energie

Pro zjednodušený výpočet potřeby elektrické energie spotřebičů $E_{s,r}$ byla použita online kalkulačka, ve které byly zadány spotřebiče pro uvažovaný RD obydlený čtyřmi osobami. [55]

Výpočet potřeby elektrické energie spotřebičů $E_{s,r}$ se počítá ze základního vzorce:

$$E_{s,r} = \sum_{i=1}^n (P_i \cdot t_i) \text{ [kWh} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (5.11)$$

Kde:

P_i příkon i -tého spotřebiče [kW]

t_i provozní doba i -tého spotřebiče za rok [$h \cdot \text{rok}^{-1}$]

Celková roční potřeba elektrické energie $E_{c,r}$ se vypočítá součtem roční potřeby elektrické energie spotřebičů $E_{s,r}$ a celkové roční potřeby tepla $Q_{c,r}$ pro vytápění a ohřev TV. Potřeba elektrické energie TČ je uvažována až v další části práce.

$$E_{c,r} = E_{s,r} + Q_{c,r} \quad (5.12)$$

$$E_{c,r} = 3719 + 12958$$

$$E_{c,r} = 16677 \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$$

6 Návrh systému

Změna topného zdroje spočívá v záměně stávajícího elektrokotle za TČ spolupracujícího s FVE. Systém bude doplněn bateriemi, akumulací nádrží a bojlerem. V celém uvažovaném objektu je podlahové vytápění a v koupelně je přidán topný žebřík. FV panely budou umístěny na jižní straně střechy pod úhlem 30 °. Další zařízení kromě venkovní jednotky TČ bude umístěno v technické místnosti. V objektu se zatím neuvažuje s aktivním chlazením.

Požadovaný záměr byl konzultován s českou firmou S-Power Energies, s.r.o, která je předním dodavatelem kompletního zařízení FV systémů včetně TČ. Zkušenosti a vstřícný přístup této firmy mě přesvědčily o jejich profesionalitě, a proto jsem vybrala jejich systém.

6.1 Charakteristika systému

Pro můj objekt firma S-Power Energies, s.r.o nabídla sestavu KOMBIX. [56]

Tab. 6.1 Charakteristika systému [56]

Výkon FVE	4,56 kWp
Počet panelů	12 ks
Typ panelů	EXE 380 Wp Mono
Typ střídače	GoodWee 5k-ET
Tepelné čerpadlo	iDM iPump A 3-11 (2,80-10,20 kW při A2/W35, COP 4,37) se zásobníkem na TV, objem 192 l
Akumulace	Akumulační nádrž NAD 750 v1, objem 772 l
Dobíječ baterie	BMS
Baterie	PylonTech 3,55 kWh (2ks)
POWER SWITCH	Součástí střídače je back-up rozvaděč pro ostrovní provoz
Průměrný roční výnos FVE	5000-5400 kWh

6.2 Popis instalace

- Na jižní straně střechy RD bude umístěno 12 ks FV panelů, které budou uchyceny systémovými úchyty určenými pro daný typ střechy a panelů. Je to rámová konstrukce z hliníkových profilů, která zaručuje bezpečné uchycení panelů ke střeše.
- DC kabely odolávající UV záření prochází půdním prostorem a větrací šachtou do rozvaděče v technické místnosti. Rozvaděč bude vybaven jištěním 3×16 A a střídačem.
- Napojení na střídavý proud (AC) 3fázový rozvod v RD.
- Venkovní a vnitřní jednotka TČ bude propojena chladivovým potrubím přes obvodovou stěnu do technické místnosti.
- Vnitřní jednotka TČ včetně zásobníku TV 600×790×1950 mm
- Akumulační nádrž NAD v1 (ø 750 mm + izolace)
- TČ bude napájeno 3fázově.
- Propojení TČ, ohříváče TV, akumulací nádrže a rozvodů vytápění. [56]

6.3 Sestava systému

Pro objekt jsou zvoleny tyto technologie:

6.3.1 Panely

Monokrystalické fotovoltaické panely s 72 články od firmy EXE zajišťují vysokou účinnost konverze nad 19,6 %. Panely jsou zasazeny do stabilního hliníkového rámu a jsou opatřeny 3,2 mm antireflexním sklem. Tím je dosažena optimální výkonnost k aktuálnímu slunečnímu svitu. Pasivní zadní strana je prvkem technologie PERC. Panely mají 25 let záruku lineární výkonnosti. [57]

Tab. 6.2 Technické parametry panelů [57]

Typ	A-EXM380/156-72
<i>Jmenovitý výkon</i>	380 Wp
<i>Účinnost modulu</i>	19,60 %
Konstrukce	
<i>Přední strana</i>	3,2mm antireflexní sklo
<i>Články</i>	72 monokrystalických článků
<i>Zadní strana</i>	Kompozitní film
<i>Rám</i>	40mm stříbrný anodizovaný rám
Mechanické údaje	
<i>Délka</i>	1956 mm
<i>Šířka</i>	992 mm
<i>Výška</i>	40 mm
<i>Hmotnost panelu</i>	23 kg
Mezní hodnoty	
<i>Zatížení větrem do</i>	3600 Pa
<i>Zatížení sněhem do</i>	5400 Pa

6.3.2 Hybridní třífázový střídač

Hybridní třífázový vysokonapěťový měnič umožňuje soběstačnost a energetickou nezávislost, díky funkci omezení přetoků do distribuční sítě. Rozsah výkonu 5 kW, 8 kW a 10 kW umožňuje až 100% přetížení na výstupu. Měnič funguje jako záložní zdroj (UPS). [58]

Tab. 6.3 Technické parametry střídače [58]

Typ	GW5K-ET
<i>Topologie</i>	<i>Bez transformátorová</i>
<i>Max. DC vstupní výkon</i>	<i>6500 W</i>
<i>Max. DC vstupní napětí</i>	<i>1000 V</i>
<i>Počet MPPT</i>	<i>2</i>
<i>Max. účinnost</i>	<i>98 %</i>
<i>Jmenovitý výstupní výkon</i>	<i>5000 W</i>
<i>Stupeň krytí</i>	<i>IP65</i>
<i>Hmotnost</i>	<i>25 kg</i>

6.3.3 Baterie

Nejnovější verze vysokonapěťového akumulátoru LiFeP4 od Pylontech s kapacitou od 7,1 kWh do 24,86 kWh. Flexibilní konfigurace díky stohovacímu systému poskytuje napětí od 96 V do 336 V. [59]

Tab. 6.4 Technické parametry baterie [59]

Typ	Pylontech Force H1 3,55 kWh
<i>Stupeň krytí</i>	<i>IP55</i>
<i>Okolní teplota</i>	<i>0-50 °C</i>
<i>Výška</i>	<i>530 mm</i>
<i>Šířka</i>	<i>600 mm</i>
<i>Hloubka</i>	<i>380 mm</i>
<i>Hmotnost</i>	<i>42 kg</i>

6.3.4 Tepelné čerpadlo

Zdrojem tepla pro vytápění a ohřev TV je TČ v provedení Split. Venkovní jednotka – výparník je v těsné blízkosti obvodové zdi a s vnitřní jednotkou je propojena chladivovým potrubím s tepelnou izolací. K vnitřní jednotce je přiveden napájecí kabel 400 V, kabel od venkovního čidla a internetový přístup. Venkovní jednotka je upevněna na betonovém základě se zajištěným obvodem kondenzátu. Součástí vnitřní jednotky TČ je zásobník TV o objemu 192 l a bivalentní zdroj – vestavěná topná tyč. Invertorová technologie umožňuje plynulou regulaci výkonu TČ. V případě zájmu může TČ i chladit. [56] [60]

Tab. 6.5 Technické parametry TČ [60]

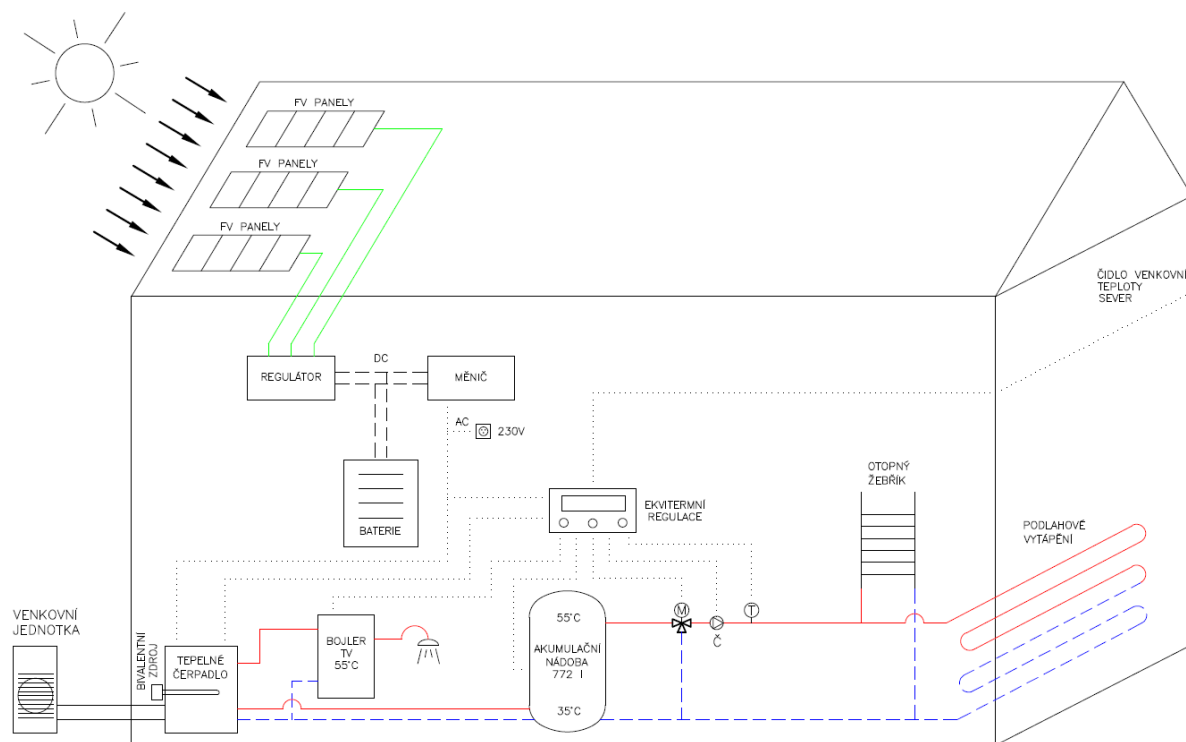
Typ	iDM iPump A3-11
<i>Topný výkon</i>	5,92 kW
<i>Elektrický příkon</i>	1,35 kW
<i>Topný faktor</i>	4,37
<i>Hlučnost</i>	45 dB
<i>Chladivo</i>	R410A
Rozměry vnitřní jednotky	
<i>Hmotnost</i>	270 kg
<i>Výška</i>	1950 mm
<i>Šířka</i>	600 mm
<i>Hloubka</i>	786 mm
Rozměry venkovní jednotky	
<i>Výška</i>	1180 mm
<i>Šířka</i>	1110 mm
<i>Hloubka</i>	745 mm
Zásobník TV	
<i>Objem zásobníku TV</i>	192 l

6.4 Schéma systému

Systém je navržen na maximální využití sluneční energie s akumulací do baterií a vody. Otopná voda je ohřívána s nejvyšším topným faktorem na 35 °C. Přebytky elektrické energie jsou ukládány do baterií. V případě nabitých baterií a informací o dostatku slunečního svitu, TČ začne s nižším topným faktorem ukládat teplo do akumulární nádrže na teplotu 55 °C (elektrická energie se neodebírá z distribuční sítě). V akumulární nádrži zůstává naakumulované teplo pro noční a dopolední vytápění domu bez práce TČ, které by muselo odebírat elektrickou energii z baterií nebo distribuční sítě. Baterie jsou využívány pro spotřebiče.

Trojcestný ventil za akumulární nádrží snižuje teplotu otopné vody na požadavek z ekvitermní regulace. Pokud venkovní teplota klesne pod bod bivalence, zapne se topná tyč (bivalentní zdroj), která je vestavěna v TČ. Při nedostatku slunečního svitu je elektrická energie odebírána z distribuční sítě.

TČ bude prioritně pracovat ve svém ideálním topném faktoru a v případě přebytků z FVE a nabitých baterií, se bude teplo akumulovat na příští den s nižším topným faktorem.



Obr. 6.1 Znázorňující schéma (autor)

7 Bilanční zhodnocení systému

Znázornění měsíčních provozních cyklů FVE a TČ představují měsíční bilance. Měsíční bilanční zhodnocení je pouze teoretické. Skutečné hodnoty lze získat až vlastním provozem. Výpočty byly provedeny v MS Excel (viz příloha 1).

7.1 Měsíční bilance tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny

Jedním ze základních ukazatelů efektivity TČ je topný faktor, který je závislý na proměnlivé venkovní teplotě, a na výstupní teplotě otopné vody. Výstupní teplota otopné vody se bude vzhledem k systému TČ s bojlerem a akumulací nádrží měnit. Bojler pro ohřev TV bude vždy ohříván na 55 °C, akumulací nádrž bude ohřívána primárně na 35 °C. Pouze v případě přebytku slunečního záření bude akumulací nádrž ohřívána na 55 °C, i když s nižším topným faktorem (elektrická energie je dodávána z FVE).

Pro přesnější měsíční bilance jsou tedy znázorněny měsíční bilance pro výstupní teplotu otopné vody 55 °C a 35 °C. V bilancích se promítá rozdílné COP.

7.1.1 Teplota otopné vody 55 °C

Pro jednotlivé měsíce jsou zvoleny průměrné teploty z ČHMÚ z roku 2019 pro lokalitu Zlín. Tyto průměrné teploty jsou pro zjednodušení a korektnost zaokrouhleny na celá čísla.

Tepelná ztráta RD, potřeba tepla pro vytápění a ohřev TV jsou pro jednotlivé měsíční teploty vypočítány. Při výpočtu je uvažována vnitřní teplota 22 °C a venkovní teplota vzhledem k jednotlivým měsícům. Pro TČ iDM iPump A 3-11 jsou hodnoty COP, včetně výkonu a elektrického příkonu výrobcem udány podle normy EN 14511. Pro některé průměrné měsíční teploty nebyly hodnoty COP a tepelného výkonu definovány. Chybějící hodnoty jsou tedy dopočítány lineární interpolací. [60] [61]

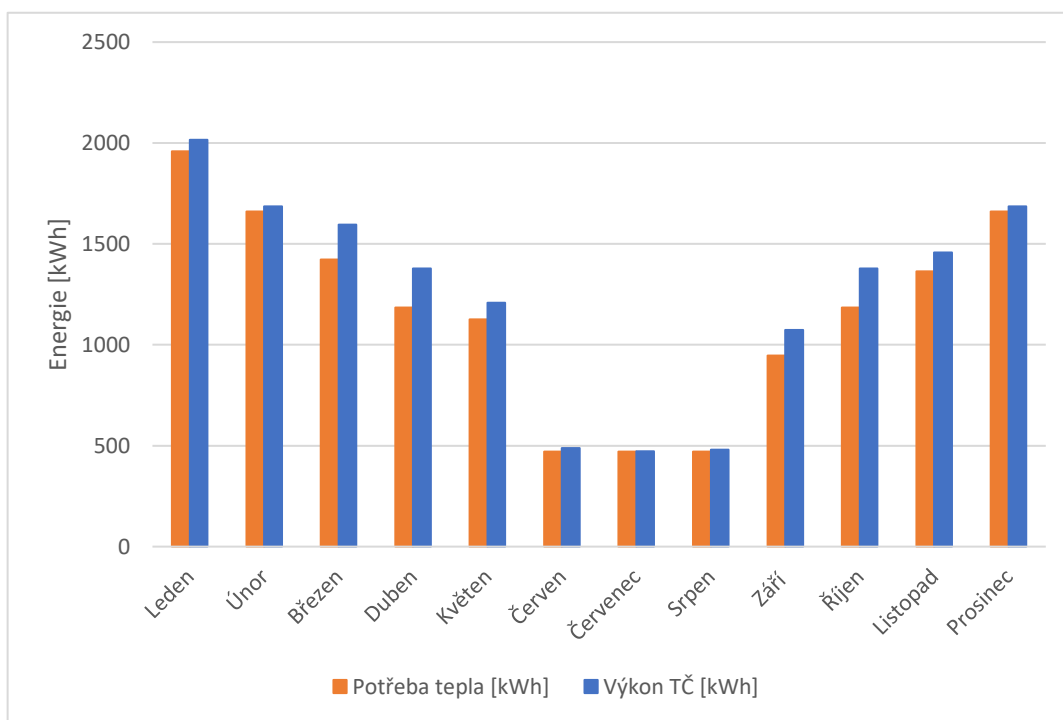
Tab. 7.1 Měsíční bilance TČ pro 55 °C

Měsíce	Průměrná teplota [°C]	Tepelná ztráta [kW]	Potřeba tepla [kWh]	COP [-]	Výkon TČ [kW]	Elektrický příkon [kW]
Leden	-3	2,96	1959	2,43	4,48	1,84
Únor	2	2,37	1661	2,71	5,11	1,89
Březen	6	1,90	1423	3,02	5,91	1,96
Duben	10	1,42	1185	3,34	6,56	1,96
Květen	11	1,30	1126	3,44	6,71	1,95
Červen	21	—	471	4,33	8,15	1,88
Červenec	19	—	471	4,19	7,87	1,88
Srpen	20	—	471	4,26	8,01	1,88
Září	14	0,95	947	3,78	7,16	1,89
Říjen	10	1,42	1185	3,34	6,56	1,96
Listopad	7	1,78	1364	3,1	6,07	1,96
Prosinec	2	2,37	1661	2,71	5,11	1,89
Za rok			13923			

Odhadovaná doba chodu TČ byla vypočítána tak, aby výkon TČ plně pokryl potřebu tepla. Při výpočtech je počítáno s 30 dny v měsíci. Výkon TČ pokryje potřebu tepla ve všech měsících (viz obr. 7.1). Bivalentní zdroj není využit. K odhadované době chodu TČ byla dopočítána odpovídající spotřeba elektřiny a výkon TČ.

Tab. 7.2 Měsíční bilance spotřeby elektřiny TČ pro 55 °C

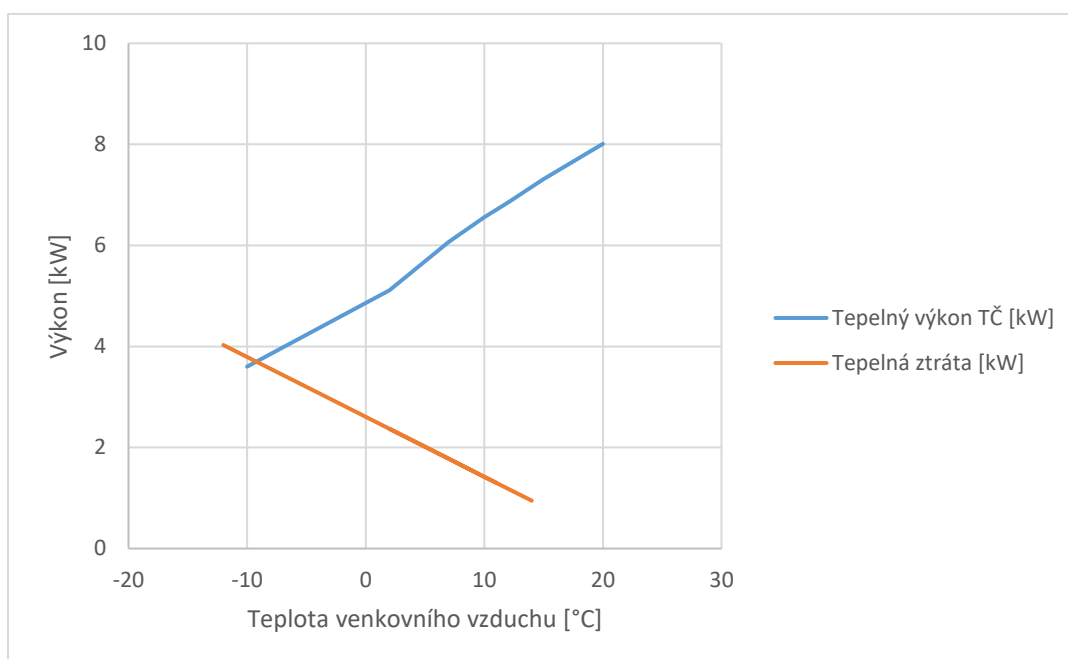
Měsíce	Odhadovaná doba chodu TČ [hod]	Spotřeba elektřiny TČ [kWh]	Výkon TČ [kWh]
Leden	450	830	2016
Únor	330	624	1686
Březen	270	528	1596
Duben	210	412	1378
Květen	180	351	1208
Červen	60	113	489
Červenec	60	113	472
Srpen	60	113	481
Září	150	284	1074
Říjen	210	412	1378
Listopad	240	470	1457
Prosinec	330	624	1686
Za rok		4873	



Obr. 7.1 Pokrytí potřeby tepla výkonem TČ pro 55 °C

Při nejvyšší potřebě tepla v zimních měsících je topný faktor nejnižší, a naopak u nejnižší potřeby tepla pro vytápění a ohřev TV je topný faktor nejvyšší.

Tepelný výkon TČ klesá s klesající teplotou venkovního vzduchu, naopak tepelná ztráta domu stoupá. To je důvod, proč je požadavek na bivalentní zdroj tepla pro pokrytí tepelných ztrát. Pro uvažovaný objekt je bivalentním zdrojem zabudovaná topná tyč v TČ. Průsečík tepelného výkonu a tepelné ztráty je bod bivalence. Bod bivalence pro zvolený objekt a pro tepelný výkon odpovídající při 55 °C je přibližně -9 °C. To znamená, že při -9 °C se zapne bivalentní zdroj, a pokud nebude FVE vyrábět energii pro bivalentní zdroj, bude elektřina odebírána z distribuční sítě. Vzhledem k tomu, že nejnižší průměrná měsíční teplota je -3 °C, bivalentní zdroj je v těchto bilancích zanedbán.



Obr. 7.2 Závislost výkonu TČ na venkovní teplotě

Výroba elektřiny z FVE je závislá na množství dopadajícího slunečního záření. Firma S-Power Energies, s.r.o poskytla informace o energetické výnosnosti FVE. Z dodaných informací jsem použila hodnoty měsíční výroby elektřiny Et_m (viz tabulka 7.3). [56]

Spotřeba spotřebičů je uvažována pro všechny měsíce stejně a je pouze pro modelový příklad, skutečnost se bude v jednotlivých měsících lišit dle reálných potřeb v RD. K celkové spotřebě elektřiny je kromě spotřeby spotřebičů započítána i spotřeba elektřiny TČ.

Odečtením měsíční výroby elektřiny Et_m od celkové spotřeby elektřiny, vyjde potřeba elektrické energie z distribuční sítě. Hodnoty v červnu, červenci a srpnu vyjadřují přebytky elektrické energie, které se můžou prodat do distribuční sítě nebo využít pro ohřev bazénu a chlazení, to ale není předmětem této práce.

Tab. 7.3 Pokrytí potřeby elektrické energie z FVE a z distribuční sítě pro 55 °C

Měsíc	Et_m [kWh]	Spotřeba spotřebičů [kWh]	Spotřeba elektřiny TČ [kWh]	Celková spotřeba elektřiny [kWh]	Distribuční síť [kWh]	Přebytky [kWh]
Leden	177	310	830	1140	963	—
Únor	275	310	624	934	659	—
Březen	444	310	528	838	394	—
Duben	575	310	412	722	147	—
Květen	627	310	351	661	34	—
Červen	621	310	113	423	—	198
Červenec	620	310	113	423	—	197
Srpen	601	310	113	423	—	178
Září	456	310	284	594	138	—
Říjen	332	310	412	722	390	—
Listopad	184	310	470	780	596	—
Prosinec	148	310	624	934	786	—
Za rok	5060	3719	4873	8592	4105	574

Měsíční výroba elektrické energie Et_m z FVE se vypočítá ze vztahu: [62]

$$Et_m = \frac{H_{Solar} \cdot P_{MPP} \cdot PR}{G_{ref}} \text{ [kWh]} \quad (7.1)$$

Kde:

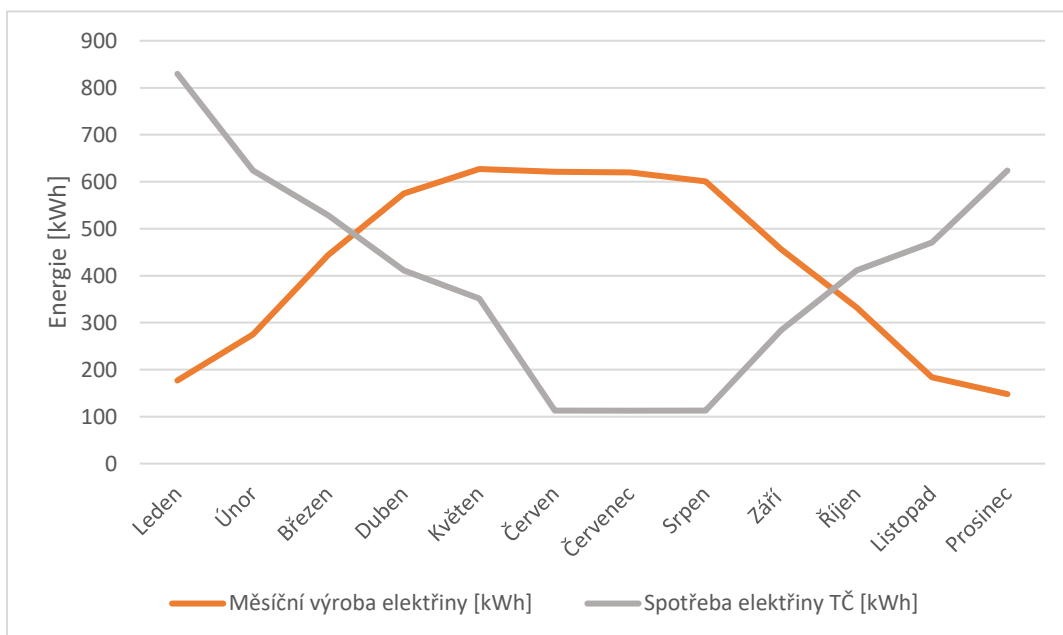
G_{ref} referenční sluneční ozáření, $G_{ref} = 1 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$

H_{Solar} hodnota úhrnu solární radiace [$\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}$]

P_{MPP} instalovaný MPP výkon $P_{MPP} = 4,56 \text{ kWp}$

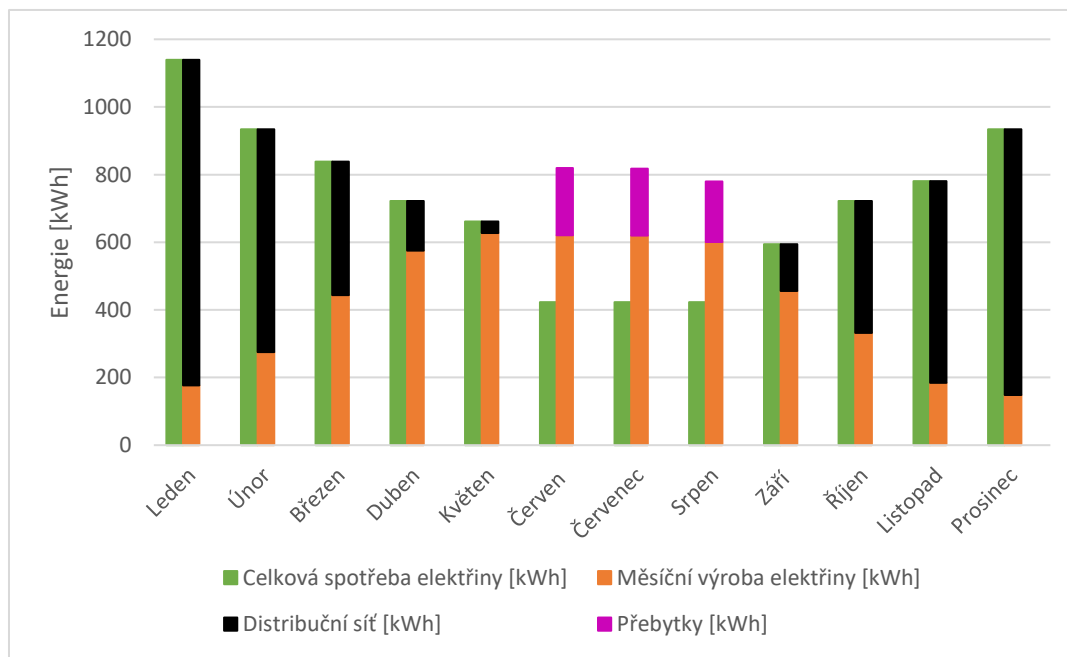
PR Performance Ratio, činitel výkonnosti FV systému $PR = 0,75$ (pro mírně větrané moduly)

FVE pokryje od poloviny března do konce září odhadovanou spotřebu TČ (viz obr. 7.3).



Obr. 7.3 Odhadovaná spotřeba elektřiny TČ a očekávaná výroba z FVE pro 55 °C

Celkové bilanční zhodnocení systému pro 55 °C je znázorněno na obrázku 7.4.



Obr. 7.4 Bilanční zhodnocení pro 55 °C

Celková roční potřeba elektrické energie u systému TČ s FVE je 8592 kWh. Část je pokryta výrobou z FVE. Zbývající část, tj. 4105 kWh bude odebírána z distribuční sítě.

Tab. 7.4 Roční potřeba elektrické energie z distribuční sítě pro 55 °C

Systém TČ s FVE s teplotou otopné vody 55 °C	
Potřeba elektrické energie (spotřebiče, příkon TČ)	8592 kWh·rok ⁻¹
Distribuční síť	4105 kWh·rok⁻¹

Celková roční potřeba elektrické energie pro vytápění elektrokotlem je 17642 kWh.

Tab. 7.5 Roční potřeba elektrické energie pro 55 °C

Systém pouze s elektrokotlem	
Potřeba elektrické energie (spotřebiče)	3719 kWh·rok ⁻¹
Vytápění a ohřev TV	13923 kWh·rok ⁻¹
Celkem elektrické energie	17642 kWh·rok⁻¹

7.1.2 Teplota otopné vody 35 °C

Měsíční bilance pro 35 °C jsou provedeny stejným způsobem jako pro 55 °C. Hodnoty COP, výkonu a elektrického příkonu TČ jsou zase určeny dle technické dokumentace. [60]

Tab. 7.6 Měsíční bilance TČ pro 35 °C

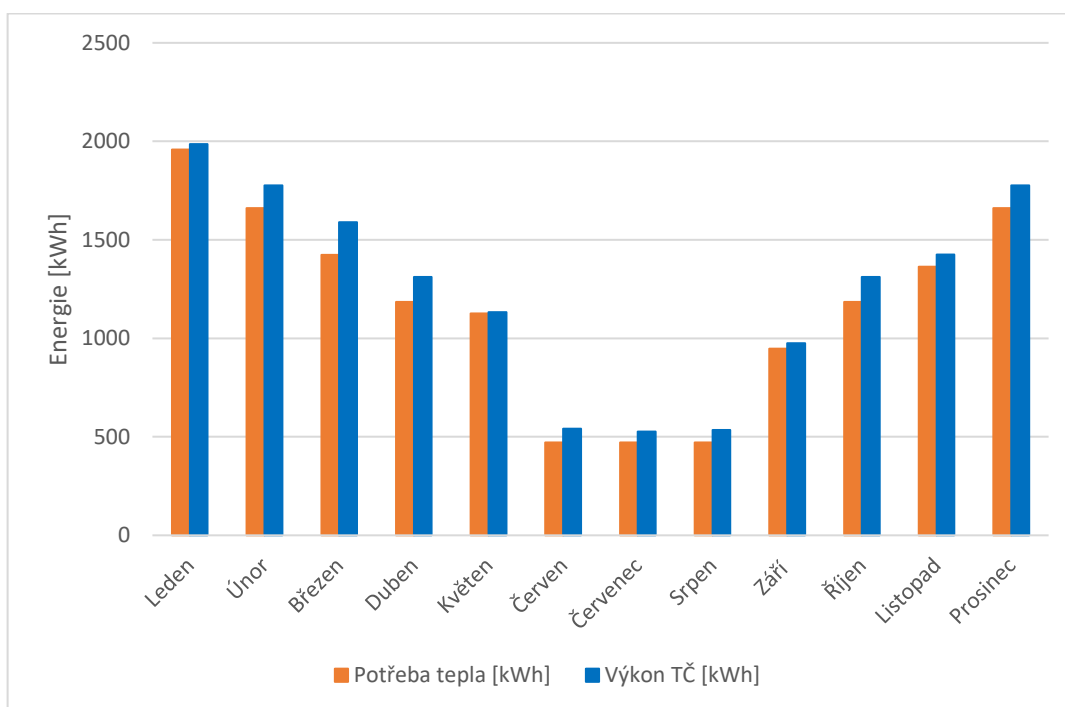
Měsíce	Průměrná teplota [°C]	Tepelná ztráta [kW]	Potřeba tepla [kWh]	COP [-]	Výkon TČ [kW]	Elektrický příkon [kW]
Leden	-3	2,96	1959	3,76	5,09	1,35
Únor	2	2,37	1661	4,37	5,92	1,35
Březen	6	1,90	1423	4,95	6,62	1,34
Duben	10	1,42	1185	5,5	7,29	1,35
Květen	11	1,30	1126	5,64	7,55	1,34
Červen	21	—	471	6,38	9,02	1,41
Červenec	19	—	471	6,22	8,78	1,41
Srpen	20	—	471	6,30	8,90	1,41
Září	14	0,95	947	5,86	8,13	1,39
Říjen	10	1,42	1185	5,5	7,29	1,35
Listopad	7	1,78	1364	5,1	6,79	1,33
Prosinec	2	2,37	1661	4,37	5,92	1,35

Tab. 7.7 Měsíční bilance spotřeby elektřiny TČ pro 35 °C

Měsíce	Odhadovaná doba chodu TČ [hod]	Spotřeba elektřiny TČ [kWh]	Výkon TČ [kWh]
Leden	390	527	1985
Únor	300	405	1776
Březen	240	322	1589
Duben	180	243	1312
Květen	150	201	1133
Červen	60	85	541
Červenec	60	85	527
Srpen	60	85	534
Září	120	167	976
Říjen	180	243	1312
Listopad	210	279	1426
Prosinec	300	405	1776

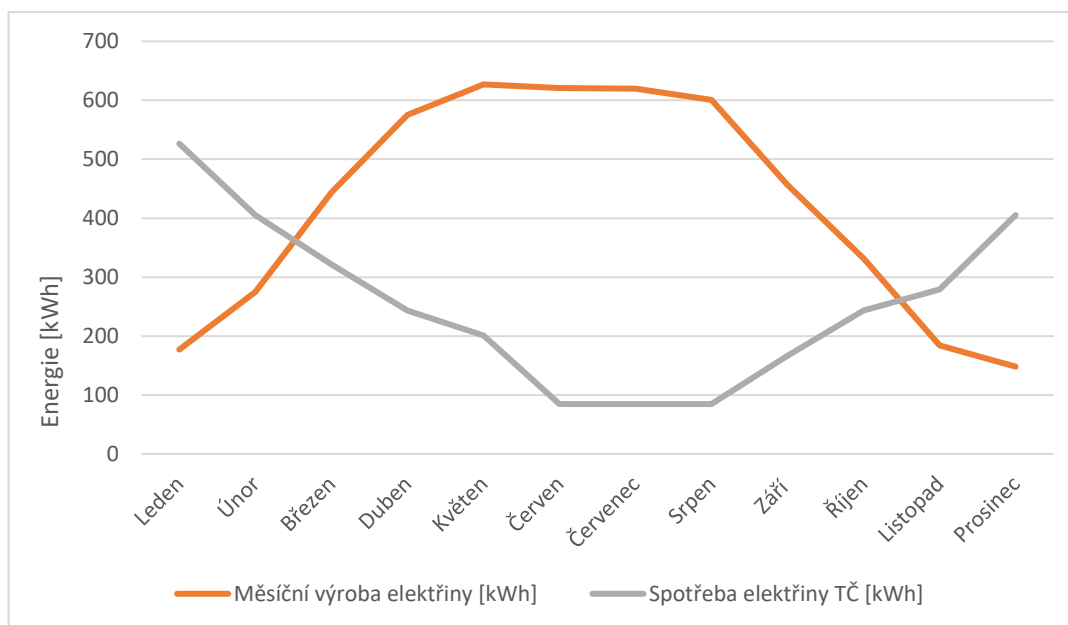
Tab. 7.8 Pokrytí potřeby elektrické energie z FVE a z distribuční sítě pro 35 °C

Měsíc	Et_m [kWh]	Spotřeba spotřebičů [kWh]	Spotřeba elektřiny TČ [kWh]	Celková spotřeba elektřiny [kWh]	Distribuční sít' [kWh]	Přebytky [kWh]
Leden	177	310	527	836	659	—
Únor	275	310	405	715	440	—
Březen	444	310	322	632	188	—
Duben	575	310	243	553	659	—
Květen	627	310	201	511	—	22
Červen	621	310	85	395	—	116
Červenec	620	310	85	395	—	226
Srpen	601	310	85	395	—	225
Září	456	310	167	477	21	—
Říjen	332	310	243	553	221	—
Listopad	184	310	279	589	405	—
Prosinec	148	310	405	715	567	—
Rok	5060	3719	3045	6764	2501	797



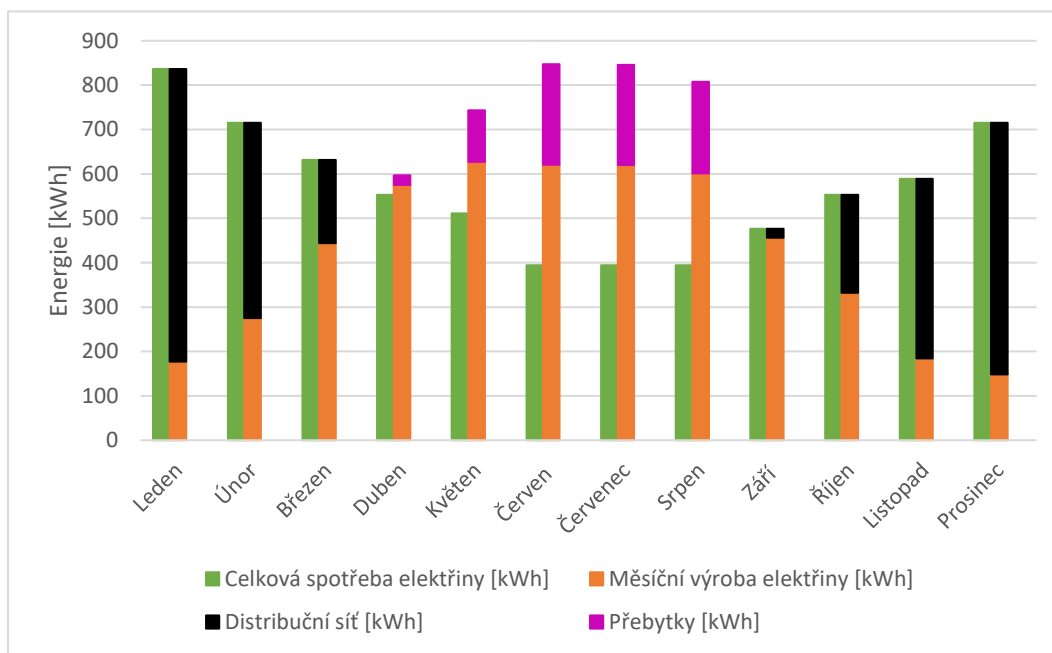
Obr. 7.5 Pokrytí potřeby tepla výkonem TČ pro 35 °C

FVE pokryje od poloviny února do poloviny října odhadovanou spotřebu TČ (viz obr. 7.7).



Obr. 7.6 Odhadovaná spotřeba elektřiny TČ a očekávaná výroba z FVE pro 35 °C

Celkové bilanční zhodnocení systému pro 35 °C je znázorněno na obrázku 7.7.



Obr. 7.7 Bilanční zhodnocení pro 35 °C

Celková roční potřeba elektrické energie u systému TČ s FVE je 6764 kWh. Část je pokryta výrobou z FVE. Zbývající část, tj. 2501 kWh bude odebírána z distribuční sítě.

Tab. 7.9 Roční potřeba elektrické energie z distribuční sítě pro 35 °C

Systém TČ s FVE s teplotou otopné vody 35 °C	
Potřeba elektrické energie (spotřebiče, příkon TČ)	6764 kWh·rok ⁻¹
Distribuční síť	2501 kWh·rok⁻¹

Celková roční potřeba elektrické energie pro vytápění elektrokotlem je 17642 kWh.

Tab. 7.10 Roční potřeba elektrické energie pro 35 °C

Systém pouze s elektrokotlem	
Potřeba elektrické energie (spotřebiče)	3719 kWh·rok ⁻¹
Vytápění a ohřev TV	13923 kWh·rok ⁻¹
Celkem elektrické energie	17642 kWh·rok⁻¹

8 Technicko-ekonomické zhodnocení systému

Systém TČ s FVE je ekonomicky porovnán s elektrokotlem.

8.1 Pořizovací náklady

Firma S-Power Energies, s.r.o dodala cenovou nabídku. Ceny jsou včetně DPH. [56]

Tab. 8.1 Rozpočet

Název položky	Množství (ks)	Cena celkem (kč)
Solární panely EXE 380 Wp	12	54 322
Konstrukce pro uchycení FVE	12	27 881
Střídač GW 5k-ET	1	73 959
Dobíječ GW BMS	1	29 892
Baterie PylonTech FORCE H2 2,55 kWh	2	99 335
Modbus elektroměr + bezdrátové měření	1	15 365
Zásobník AKU NAD 750v1 včetně izolace	1	35 899
SSR relé 20 A	3	4 278
Regulace přetoků WATTROUTER ECO	1	6 595
Montážní práce včetně materiálu	1	98 478
Služby (vyřízení dotace, distributor, doprava, revize)	1	28 230
Celkem za FVE		474 234
Tepelné čerpadlo iDM iPump A 3-11 včetně zásobníku TV	1	181 665
Montážní práce včetně materiálu	1	50 324
revize, doprava, zaškolení		8 777
Celkem za TČ		240 766
Cena celkem		715 000

Dotace Nová zelená úsporám C.3.8 a dotace za změnu zdroje D.2.7., celková dotace je 215 000 Kč, výsledná cena systému je 500 000 Kč.

Tab. 8.2 Rozpočet – cena na zaplacení

Cena celkem	715 000
Dotace Nová zelená úsporám	155 000
Dotace za změnu zdroje	60 000
Cena na zaplacení	500 000

Zde jsou uvedené některé garantované záruky: [56]

- 25 let na výkon FV panelů
- 15 let na mechanické části FV
- 7 let na kompresor
- 5 let na střídač
- 10 let na baterie
- 5 let na dobíječ baterií
- 3 roky na práci
- 2 roky na regulační techniku a ostatní komponenty

8.2 Ekonomické zhodnocení

Pro TČ a elektrokotel je vybrána dvoutarifová sazba D57d od společnosti E-ON. Cena za 1 kWh je poměrově určena z nízkého a vysokého tarifu a je uvažována pro 24hodinový model. Ve skutečnosti lze předpokládat nižší provozní náklady, protože TČ a elektrokotel pojedou maximálně 20 hodin, a to pouze v nízkém tarifu. Čerpání energie ve vysokém tarifu je blokováno pouze pro TČ. Ceny jsou včetně DPH.

Tab. 8.3 Sazba D57d

	<i>Cena v Kč za 1 kWh</i>	<i>Denní počet hodin</i>
<i>Vysoký tarif</i>	3,3820	4
<i>Nízký tarif</i>	2,6247	20
<i>Poměrná cena</i>	2,7510	24

K vypočítané poměrné ceně za nízký a vysoký tarif jsou připočteny měsíční platby, tj. cena za distribuci, za hlavní jistič a za činnost operátora trhu. Dále je připočítána cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie. [63]

Výsledná cena za 1 kWh je v případě elektrokotle vynásobena celkovou roční potřebou elektřiny objektu, v případě systému TČ s FVE je vynásobena potřebou elektřiny z distribuční sítě.

Uvádím pořizovací náklady elektrokotle včetně instalace (viz tab. 8.4).

Tab. 8.4 Pořizovací a provozní náklady

	<i>Pořizovací náklady [Kč]</i>	<i>Provozní náklady [Kč]</i>
<i>Elektrokotel</i>	45000	64525
<i>Systém TČ s FVE (55 °C)</i>	500000	19177
<i>Systém TČ s FVE (35 °C)</i>	500000	13804

Roční provozní náklady pro vytápění objektu pouze elektrokotlem jsou 64525 Kč. Provozní náklady systému FVE s TČ jsou mezi 13804-19177 Kč. To znamená, že se oproti elektrokotli ušetří **70-79 %**.

8.2.1 Roční úspora

Roční úspora systému $U_{1,2,r}$ se vypočítá ze vztahu:

$$U_{1,2,r} = N_{E,r} - N_{1,2,T\check{C}+FVE,r} \text{ [Kč]} \quad (8.1)$$

Kde:

$U_{1,r}$	roční úspora TČ s FVE pro 55 °C [Kč]
$U_{2,r}$	roční úspora TČ s FVE pro 35 °C [Kč]
$N_{E,r}$	roční provozní náklady elektrokotle [Kč]
$N_{1,T\check{C}+FVE,r}$	roční provozní náklady TČ s FVE pro 55 °C [Kč]
$N_{2,T\check{C}+FVE,r}$	roční provozní náklady TČ s FVE pro 35 °C [Kč]

$$U_{1,r} = 64525 - 19177$$

$$U_{1,r} = \mathbf{45348 \text{ Kč}}$$

$$U_{2,r} = 64525 - 13804$$

$$U_{2,r} = \mathbf{50721 \text{ Kč}}$$

Roční úspora systému TČ s FVE s porovnáním elektrokotle je 45348-50721 Kč.

8.2.2 Návratnost

Návratnost systému $N_{1,2,T\check{C}+FVE}$ se vypočítá ze vztahu:

$$N_{1,2,T\check{C}+FVE} = \frac{P_{N,T\check{C}+FVE} - P_{N,E}}{U_{1,2,r}} \text{ [rok]} \quad (8.2)$$

Kde:

$N_{1,T\check{C}+FVE}$	návratnost systému TČ s FVE pro 55 °C [rok]
$N_{2,T\check{C}+FVE}$	návratnost systému TČ s FVE pro 35 °C [rok]
$P_{N,T\check{C}+FVE}$	pořizovací náklady systému TČ s FVE [Kč]
$P_{N,E}$	pořizovací náklady elektrokotle [Kč]
$U_{1,r}$	roční úspora TČ s FVE pro 55 °C [Kč]
$U_{2,r}$	roční úspora TČ s FVE pro 35 °C [Kč]

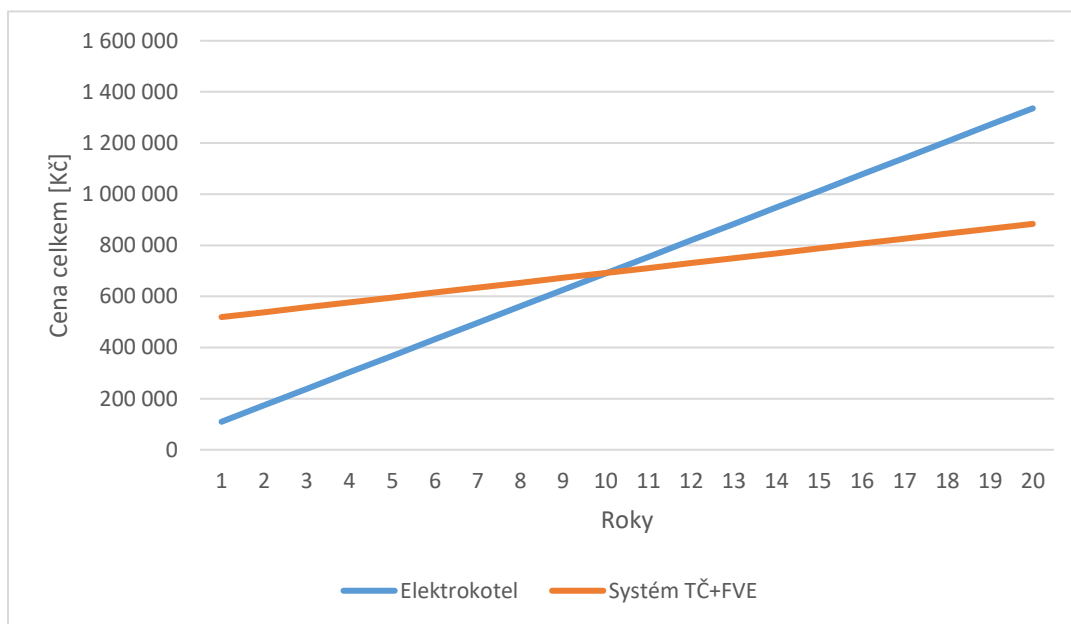
$$N_{1,T\check{C}+FVE} = \frac{500000 - 45000}{45348}$$

$$N_{1,T\check{C}+FVE} = \mathbf{10 \text{ let}}$$

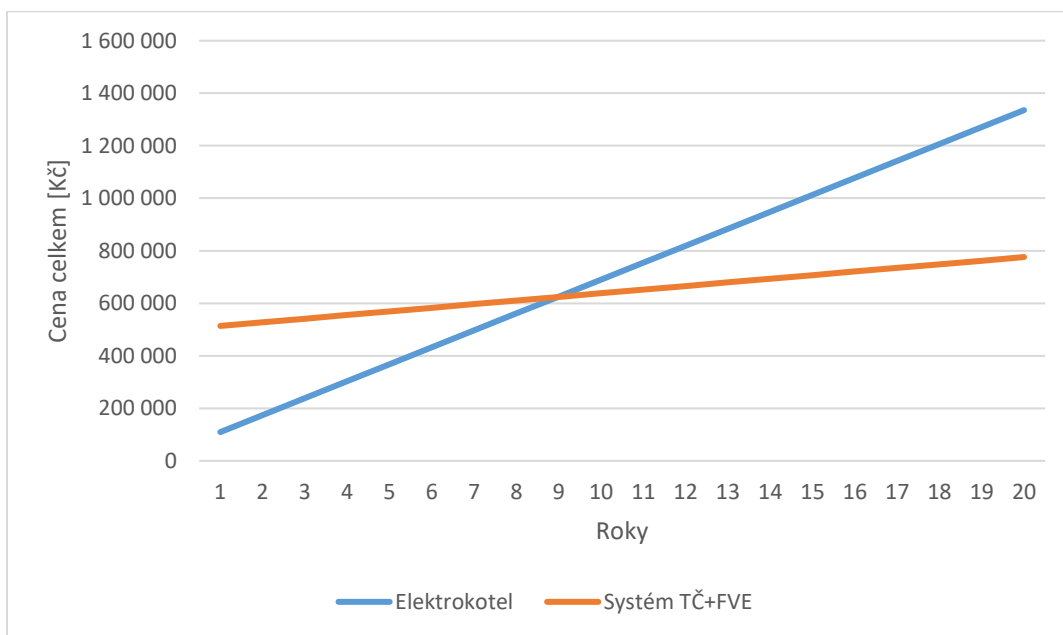
$$N_{2,T\check{C}+FVE} = \frac{500000 - 45000}{50721}$$

$$N_{2,T\check{C}+FVE} = \mathbf{9 \text{ let}}$$

Návratnost systému s porovnáním elektrokotle je 9-10 let (viz obr. 8.1 a 8.2).



Obr. 8.1 Návratnost systému s teplotou otopné vody 55 °C



Obr. 8.2 Návratnost systému s teplotou otopné vody 35 °C

ZÁVĚR

V bakalářské práci se zabývám systémem vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem spolupracujícím s fotovoltaickou elektrárnou s akumulací elektrické energie do baterií a akumulací tepla do akumulační nádrže a ohřevu teplé vody v bojleru.

V teoretické části je nejprve popsán princip tepelného čerpadla, jeho pracovní cyklus, topný faktor a význam značky kvality Q. Dále jsou popsány nepoužívané hlavní komponenty tepelného čerpadla, jeho cirkulující pracovní látka a typy tepelných čerpadel podle nízkopotenciálního zdroje. Další kapitola popisuje fotovoltaický systém. Jeho fotovoltaický jev, základní komponenty, včetně důležitosti třífázového střídače pro hybridní systém a problém recyklace. V další části jsou popsány způsoby akumulace – akumulace elektřiny do lithium-iontových baterií, akumulace tepla do akumulační nádrže a ohřev teplé vody v bojleru.

V praktické části je popsán objekt a jsou vypočítány jeho energetické požadavky. Pro zvolený objekt je navržen systém od firmy S-Power Energies, s.r.o a je vytvořeno znázorňující schéma s popisem principu fungování fotovoltaické elektrárny s tepelným čerpadlem. Celý systém je v jednotlivých měsících bilančně zhodnocen prostřednictvím MS Excel. Pro objektivnost jsou bilance provedeny pro teplotu otopné vody 35 °C a 55 °C. Na základě bilancí je provedeno ekonomické zhodnocení, kde je systém porovnán se systémem vytápění elektrokotlem.

Roční provozní náklady systému ve srovnání s elektrokotlem jsou o 70-79 % procent nižší. Tato úspora je odvislá od tepelných ztrát objektu a od zvolených technologií systému. S menším výkonem tepelného čerpadla a s menším počtem fotovoltaických panelů by se snížily pořizovací náklady a provozní náklady by se zvýšily. Proto je důležité zvážit velikost systému, aby byl úsporný a současně finančně dostupný. Pro větší dostupnost takto finančně náročného systému je možné využít některý z aktuálních dotačních programů. Pořizovací cena navrženého systému po odečtení dotace z programu Nová zelená úsporám činí 500 000 Kč. Návratnost v porovnání se systémem pro vytápění s elektrokotlem je při stejném cenovém tarifu elektřiny 9-10 let.

Parametry navrženého systému jsou vypočítány, skutečné hodnoty lze získat až z reálného provozu. Výhodou systému s tepelným čerpadlem je dvacetihodinový nízký tarif od dodavatele elektrické energie řízený systémem hromadného dálkového ovládání. Ve vysokém tarifu bude blokován pouze chod tepelného čerpadla, pokud nebude z přebytků fotovoltaické elektrárny akumulovat teplo. Při akumulaci tepla pracuje tepelné čerpadlo na vyšší teplotu s nižším topným faktorem, elektrickou energii ale odebírá z fotovoltaické elektrárny.

Spolupráce fotovoltaické elektrárny a tepelného čerpadla je ekonomicky výhodná. Díky novým technologiím se výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů rozšiřuje, pořizovací náklady systému se snižují, a další vývoj povede ke stoupajícímu zájmu o tento systém.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: návratnost i za jeden rok*. Vyd. 1. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [2] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Brno: ERA, 2005. 21. století. ISBN 80-7366-031-8.
- [3] DŘÍMAL, Petr. *Tepelná čerpadla, geotermální energie* [online]. Copyright © 2016 [cit. 2019-10-21]. ISBN 978-80-88058-05-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/02.html>
- [4] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0.
- [5] Schéma funkce TČ. In: *Tepelná čerpadla voda/voda - podzemní voda* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.solarenavi.cz/a-48-tepelna-cerpadla-voda-voda-podzemni-voda.html>
- [6] Zobrazení chladivového okruhu v P-h diagramu. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-factory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>
- [7] *Model tepelného čerpadla s odvodem tepla na třech úrovních* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12678-model-tepelneho-cerpadla-s-odvodem-tepla-na-trech-urovnich>
- [8] *Tepelné oběhy a jejich realizace* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.transformacni-technologie.cz/06.html#braytonuv-obeh-jouleho-obeh>
- [9] *AC Heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel* [online]. 2012 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-factory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>
- [10] GALAS, Otakar a Veronika ŠÍPKOVÁ. *Sborník o tepelných čerpadlech*. Ostrava: Moravskoslezský energetický klastr, 2014. ISBN 978-80-905392-9-7.
- [11] *Tepelné čerpadlo? Ano, od solidního dodavatele. AVTČ sdružuje 17 největších značek TČ* [online]. 2016 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13932-tepelne-cerpadlo-ano-od-solidniho-dodavatele-avtc-sdruzuje-17-nejvetsich-znacek-tc>
- [12] *Kompresory pro tepelná čerpadla* [online]. 2015 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>
- [13] Scroll kompresor. In: *TZB-info* [online]. [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>
- [14] *Wikiwand: Vapor-compression refrigeration: Scroll compressors* [online]. In: . [cit. 2019-10-31]. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/en/Vapor-compression_refrigeration

- [15] *Není EVI jako EVI* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: https://www.nibe.cz/images/download/publicita/Nen%C3%AD_Evi_jako_Evi.pdf
- [16] *Uživatelský manuál* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: https://mastertherm.cz/wp-content/uploads/2018/11/tc_master_therm_uzivatelsky_manual_160418_0.pdf
- [17] *Regulace chladivových klimatizačních systémů* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~zmrhavla/Publikace/VVI-2013-01_p002.pdf
- [18] *R-32* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <http://www.q-klima.cz/daikin/klimatizace/daikin>
- [19] *Chladiva používaná v tepelných čerpadlech* [online]. 2015 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [20] *Tepelná čerpadla IVT: Vzduch/voda - venkovní vzduch*. In: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda> [online]. [cit. 2020-03-11].
- [21] *Tepelná čerpadla IVT: Země/voda - vrt* [online]. In: . [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vrt>
- [22] *Tepelná čerpadla IVT: Země/voda - plocha* [online]. [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha>
- [23] *Tepelná čerpadla IVT: Země/voda - plocha* [online]. In: . [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha?gclid=EAIaIQobChMIuq7xqsq05AIViud3Ch38vwEPEAAyAAEgJszvD_BwE
- [24] *Tepelná čerpadla IVT: Voda/voda (studny)* [online]. In: . [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-voda-voda-studny>
- [25] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [26] MURTINGER, Karel, Jiří BERANOVSKÝ a Milan TOMEŠ. *Fotovoltaika. Elektrina ze slunce*. 2007. Era - vydavatelství. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [27] *Energie slunečního záření: Přímé vs difuzní záření v podmínkách ČR* [online]. In: . [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [28] *Fotovoltaika v podmínkách České republiky* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [29] *Solar resource maps* [online]. In: . [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe>
- [30] *Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR* [online]. 2016 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>
- [31] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika - Budovy jako zdroj proudu*. 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

- [32] *Solární (fotovoltaické) články* [online]. In: . [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [33] *FOTOVOLTAIKA*. [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4831759-Fotovoltaika-mgr-jiri-petera-mgr-jan-herman.html>
- [34] *Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, méně rozšířené technologie* [online]. 2009 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5517-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-mene-rozsirene-technologie>
- [35] *All-perovskite tandem solar cells with 24.8% efficiency* [online]. 2019 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://techxplore.com/news/2019-10-all-perovskite-tandem-solar-cells-efficiency.html>
- [36] *Historie a perspektivy OZE - fotovoltaika, technologie krystalického křemíku* [online]. In: . [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>
- [37] *Jak vybrat hybridní měnič pro rodinný dům* [online]. 2019 [cit. 2020-03-13]. Dostupné z: <https://www.solarniasociace.cz/cs/aktualne/15410-jak-vybrat-hybridni-menic-pro-rodinny-dumdopsat>
- [38] *Solární regulátor* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <https://www.solareco.cz/regulator/predstaveni-regulatoru>
- [39] *Fotovoltaiické back-up systémy pro nepřetržitou dodávku elektrické energie* [online]. [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: <http://www.votum.cz/backup/>
- [40] *Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti* [online]. 2011 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaiickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [41] *Elektrochemické články* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/elclanky_2.html
- [42] *Kam zamíří ceny baterií a jaké technologie akumulace energie mají největší perspektivu?* [online]. 2019 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/19742-kam-zamiri-ceny-baterii-a-jake-technologie-akumulace-energie-maji-nejvetsi-perspektivu>
- [43] *Jak fungují palivové články?* [online]. 2018 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/elektromotory-pohony-a-stroje/16987-jak-funguji-palivove-clanky>
- [44] *Akumulace elektrické energie* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/akumulace-elektricke-energie--9696>
- [45] *Elektrochemické články* [online]. In: . [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/elclanky_2.html

- [46] *Dodávky baterií HE3DA začnou letos. Ale až na výjimky mimo ČR* [online]. 2020 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektriny/20153-dodavky-baterii-he3da-zacnou-letos-ale-az-na-vyjimky-mimo-cr>
- [47] *České baterie se chystají dobýt svět* [online]. In: . 2017 [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/46254>
- [48] *Význam akumulční nádoby u tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://www.tepelna-cerpadla-pzp.cz/cs/m-54-vyznam-akumulacni-nadoby-u-tepelneho-cerpadla>
- [49] *Akumulace tepelné energie - fyzikální principy* [online]. 2003 [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1482-akumulace-tepelne-energie-fyzikalni-principy>
- [50] *Solární zásobníky* [online]. [cit. 2020-06-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/137-solarni-zasobniky>
- [51] *Přepočet veličin při prostupu tepla (U , R)* [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/86-prepocet-velicin-pri-prostupu-tepla-u-r>
- [52] *Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [53] *On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám* Zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [54] *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. [cit. 2020-06-09]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>
- [55] *Za co utrácíte* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/za-co-utracite#/lokalita#top-steps>
- [56] *S-POWER* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/>
- [57] *A-EXM MONO MONOKRYSTALICKÝ 72 ČLÁNKŮ* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.s-power.cz/wp-content/uploads/exe-solar-380-wp.pdf>
- [58] *GoodWe ET SERIES* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.mtechsolar.cz/media/cache/file/e4/Good-We-3f-hyb..pdf>
- [59] *Baterie PYLON FORCE-H1 HV 3,5 kWh* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: https://shop.iftech.cz/baterie/2458-baterie-pylon-force-h1-hv-35-kwh.html?search_query=PYLONTECH&results=17
- [60] *TECHNICKÁ DOKUMENTÁCIA NÁVOD NA INŠTALÁCIU* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: http://www.certima.sk/sites/default/files/Produkty/iDM/iPump_A/ma_en_812548_ipump_a_2-7_3-11_sk.pdf
- [61] *Územní teploty* [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>

- [62] *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací* [online]. 2016 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseny-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>
- [63] *Ceník Komplet elektrina II* [online]. [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/ke-stazeni/produkty/komplet-elektrina/cenik-komplet-elektrina-ii-distribucni-uzemi-e-on-pdf/Cen%C3%ADk%20Komplet%20elekt%C5%99ina%20II%20-%20distribuC4%8Dn%C3%AD%20%C3%BAzem%C3%AD%20E.ON.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
A_k	Plocha stavební části	m^2
c	Měrná tepelná kapacita	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
COP	Topný faktor	—
D	Počet denostupňů	$K \cdot dny$
d	Počet otopného období	dny
d_i	Tloušťka i-té vrstvy	m
$E_{c,r}$	Celková roční potřeba elektrické energie	$kWh \cdot rok^{-1}$
$E_{s,r}$	Roční potřeba elektrické energie spotřebičů	$kWh \cdot rok^{-1}$
E_{tm}	Měsíční výroba elektrické energie	kWh
f_k	Teplotní korekční činitel pro stavební část	—
$f_{\Delta t}$	Teplotní korekční činitel	—
G_{ref}	Referenční sluneční ozáření	$kW \cdot m^{-2}$
h	Měrná entalpie	$kJ \cdot kg^{-1}$
H_{Solar}	Hodnota úhrnu solární radiace	$Wh \cdot m^{-2}$
N	Počet pracovní dny soustavy	—
$N_{1,2,T\check{C}+FVE}$	Návratnost systému TČ s FVE	rok
$N_{1,T\check{C}+FVE}$	Návratnost systému TČ s FVE pro 55 °C	rok
$N_{1,T\check{C}+FVE,r}$	Roční provozní náklady TČ s FVE pro 55 °C	$K\check{c}$
$N_{2,T\check{C}+FVE}$	Návratnost systému TČ s FVE pro 35 °C	rok
$N_{2,T\check{C}+FVE,r}$	Roční provozní náklady TČ s FVE pro 35 °C	$K\check{c}$
$N_{E,r}$	Roční provozní náklady elektrokotle	$K\check{c}$
n_{min}	Nejmenší intenzita výměny venkovního vzduchu	h^{-1}
P	Tlak	Bar
P_i	Příkon í-tého spotřebiče	kW
P_{MPP}	Instalovaný MPP výkon	kWp
$P_{N,E}$	Pořizovací náklady elektrokotle	$K\check{c}$
$P_{N,T\check{C}+FVE}$	Pořizovací náklady systému TČ s FVE	$K\check{c}$
PR	Činitel výkonnosti FV systému	—
$Q_{C,r}$	Celková roční potřeba tepla pro vytápění a ohřev TV	$kWh \cdot rok^{-1}$
Q_{CZ}	Celková tepelná ztráta	W
Q_{EL}	Elektrická energie pro pohon kompresoru	kW
Q_{IN}	Energie získaná ze zdroje při teplotě T_{IN}	kW
Q_{OUT}	Výsledná energie při vyšší teplotě T_{OUT}	kW
Q_T	Návrhová tepelná ztráta prostupem	W
$Q_{T,k}$	Tepelná ztráta prostupem pro jednotlivé plochy	W
$Q_{TV,d}$	Denní potřeba tepla pro ohřev TV	$kWh \cdot den^{-1}$
$Q_{TV,r}$	Roční potřeba tepla pro ohřev TV	$kWh \cdot rok^{-1}$

Q_v	Návrhová tepelná ztráta větráním	W
$Q_{vyT,r}$	Roční potřeba tepla pro vytápění	$kWh \cdot rok^{-1}$
s	Měrná entropie	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
T	Teplota	K
t_1	Teplota studené vody	$^{\circ}C$
t_2	Teplota ohřáté vody	$^{\circ}C$
T_C	Teplota kondenzace	K
t_{ex}	Venkovní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
t_i	Provozní doba í-tého spotřebiče za rok	$h \cdot rok^{-1}$
T_{IN}	Vstupní teplota teplotonosné látky	K
t_{in}	Vnitřní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
T_{OUT}	Výstupní teplota teplotonosné látky	K
t_p	Průměrná teplota otopného období	$^{\circ}C$
t_{svl}	Teplota studené vody v létě	$^{\circ}C$
t_{svz}	Teplota studené vody v zimě	$^{\circ}C$
U	Součinitel prostupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$U_{1,2,r}$	Roční úspora systému	$Kč$
$U_{1,r}$	Roční úspora TČ s FVE pro 55 °C	$Kč$
$U_{2,r}$	Roční úspora TČ s FVE pro 35 °C	$Kč$
U_K	Součinitel prostupu tepla pro jednotlivé plochy	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
V_{1p}	Celková potřeba teplé vody za den	$m^3 \cdot den^{-1}$
V_i	Objem vytápěného prostoru	m^3
\dot{V}_{min}	Hygienicky nejmenší požadované množství vzduchu	$m^3 \cdot hod^{-1}$
z	Koeficient energetických ztrát systému	—
ϵ	Opravný součinitel	—
α_{ex}	Součinitel prostupu tepla na chladnější straně	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
α_{in}	Součinitel prostupu tepla na teplejší straně	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
η_o	Účinnost rozvodu vytápění	—
η_r	Účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy	—
λ_i	Součinitel tepelné vodivosti i-té vrstvy	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
ρ	Hustota	$kg \cdot m^{-3}$

Zkratka	Význam
AC	Alternating Current (střídavý proud)
BMS	Battery Management System (řídící systém baterie)
COP	Coefficient of Performance (topný faktor)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DC	Direct Current (stejnoseměrný proud)
EEV	Elektronický expanzní ventil
EVA	Etylvinylacetát
EVI	Enhanced Vapour Injection (vstřikování par)
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
GWP	Global Warming Potential (potenciál globálního oteplování)
HE3DA	High Energy 3Dimension Accumulator (vysokokapacitní třírozměrná baterie)
HFC	Hydrofluorocarbon (fluorované uhlovodíky)
LCOS	Levelized Cost of Energy (sdružená cena energie)
MPP	Maximum Power Point (bod maximálního výkonu)
MPPT	Maximum Power Point Tracker (bod maximálního výkonu sledovače)
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PR	Performance Ratio (činitel výkonnosti FV systému)
PV	Photovoltaic (fotovoltaický)
SCOP	Seasonal Coefficient of Performance (sezónní topný faktor)
SPF	Seasonal Performance Factor (sezónní topný faktor)
SSE	Stacionární skladovací systém energie
TČ	Tepelné čerpadlo
TEV	Termostatický expanzní ventil
TV	Teplá voda
UPS	Uninterruptible Power Supply (zdroj nepřerušovaného nabíjení)
UV	Ultraviolet (ultrafialové)
Wp	Watt peak (špičkový výkon)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Schéma funkce TČ	12
Obr. 1.2 Ideální a reálný Rankin-Clausiiův oběh	13
Obr. 1.3 Teoretický pracovní cyklus TČ	14
Obr. 1.4 Scroll kompresor	16
Obr. 1.5 Princip funkce scroll kompresoru.....	16
Obr. 1.6 Vzduch-voda	19
Obr. 1.7 Svislý kolektor.....	20
Obr. 1.8 Plošný kolektor.....	20
Obr. 1.9 Voda-voda (studna)	21
Obr. 2.1 Přímé a difuzní záření.....	22
Obr. 2.2 Globální záření v ČR.....	23
Obr. 2.3 Fotovoltaický článek	24
Obr. 2.4 Fotovoltaický panel	25
Obr. 3.1 Elektrochemický článek	27
Obr. 3.2 Baterie HE3DA	28
Obr. 5.1 Půdorys domu.....	30
Obr. 6.1 Znázorňující schéma.....	41
Obr. 7.1 Pokrytí potřeby tepla výkonem TČ pro 55 °C.....	43
Obr. 7.2 Závislost výkonu TČ na venkovní teplotě.....	44
Obr. 7.3 Odhadovaná spotřeba elektřiny TČ a očekávaná výroba z FVE pro 55 °C	46
Obr. 7.4 Bilanční zhodnocení pro 55 °C	46
Obr. 7.5 Pokrytí potřeby tepla výkonem TČ pro 35 °C.....	49
Obr. 7.6 Odhadovaná spotřeba elektřiny TČ a očekávaná výroba z FVE pro 35 °C	49
Obr. 7.7 Bilanční zhodnocení pro 35 °C	50
Obr. 8.1 Návratnost systému s teplotou otopné vody 55 °C	54
Obr. 8.2 Návratnost systému s teplotou otopné vody 35 °C	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 5.1 Rozměry místností	31
Tab. 5.2 Součinitel prostupu tepla.....	31
Tab. 5.3 Tepelná ztráta prostupem	32
Tab. 6.1 Charakteristika systému	37
Tab. 6.2 Technické parametry panelů	38
Tab. 6.3 Technické parametry střídače	39
Tab. 6.4 Technické parametry baterie.....	39
Tab. 6.5 Technické parametry TČ.....	40
Tab. 7.1 Měsíční bilance TČ pro 55 °C	42
Tab. 7.2 Měsíční bilance spotřeby elektřiny TČ pro 55 °C	43
Tab. 7.3 Pokrytí potřeby elektrické energie z FVE a z distribuční sítě pro 55 °C.....	45
Tab. 7.4 Roční potřeba elektrické energie z distribuční sítě pro 55 °C	47
Tab. 7.5 Roční potřeba elektrické energie pro 55 °C.....	47
Tab. 7.6 Měsíční bilance TČ pro 35 °C	47
Tab. 7.7 Měsíční bilance spotřeby elektřiny TČ pro 35 °C	48
Tab. 7.8 Pokrytí potřeby elektrické energie z FVE a z distribuční sítě pro 35 °C.....	48
Tab. 7.9 Roční potřeba elektrické energie z distribuční sítě pro 35 °C	50
Tab. 7.10 Roční potřeba elektrické energie pro 35 °C	50
Tab. 8.1 Rozpočet	51
Tab. 8.2 Rozpočet – cena na zaplacení	51
Tab. 8.3 Sazba D57d	52
Tab. 8.4 Pořizovací a provozní náklady	52

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výpočty a grafické znázornění